الهيئة العامة للأبنية التعليمية

أداء الشبكات الكهربائية في المدارس الفنية

Network Performance in Technical Schools

تأليف

أ.د. محمد محمد حامد

استشاري الهيئة العامة للأبنية التعليمية

أستاذ هندسة النظم الكهربية بكلية الهندسة ببور سعيد

عام ٢٠٠٣

الفهرس

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

من منطلق التنمية الإدارية المستمرة للعاملين المتخصصين تعتني الهيئة العامة للأبنية التعليمية بالحفاظ علـــي مستوي العاملين بها وخصوصا المهندسين وقد بدأت منذ فترة طويلة هذا المشوار وتقيم الهيئـــة الـــدورات التدريبية العديدة من أجل الارتقاء بمستوى المهندسين وقد كان الموضوع الحيوي بالنسبة لمهندسي الكهرباء هو الحفاظ علي مستوى تشغيل الشبكات الكهربية بعد الإنشاء كي تظل علي أعلى مستوى وتعطي أقـــل استهلاكا للطاقة مع التأكيد علي أهمية أعمال المتابعة والصيانة والمراجعة المستمرة وبنظام دوري ولهذا يقدم الكتيب الحالي بعضا من الموضوعات الجوهرية لينطلق من خلالها المهندس المتخصص .



الباب الأول

معامل القدرة Power Factor

تعتبر عملية تشغيل المولدات من أهم الموضوعات الرئيسية المؤثرة فى تشغيل الشبكة الكهربائية لرفع الاعتمادية فيها مما يضع كل المعاملات المتعلقة بتشغيل المولدات علي قمة الأساسيات التـــي تحـــدد الشكل الهندسى لمستوى أداء الشبكات الكهربائية عموما ولما كـــانت إجـــراءات تشـــغيل المولـــدات وتوصيلها إلى الشبكة أو فصلها عنها تعتمد على مستوى الأحمال العاملة فيها في تلك اللحظـــة ممـــا يجعل أسلوب توزيع الأحمال في مقدمة هذه المؤثرات والتي تحتاج إلي المزيد من التحليـــل والبحـــث وصولا إلي التشغيل الأمثل . أن النظرة إلي دراسة سريان الأحمال تحتاج إلي إضافة توزيع الأحمـــال من خلال وضع منحنيات الأحمال داخل العملية البحثية من أجل الوصول إلي التشـــغيل الاقتصـــادى الأمثل للشبكة الكهربائية خصوصا في شبكات التوزيع.

لا يتوقف التشغيل الاقتصادي للشبكة الكهربائية علي مكوناتها فحسب تبعا للعمليات الحسابية المحـــددة لهذا الغرض وبالأسلوب المعتاد بل يشمل تكلفة كل المعوقات أو الملحقات والمساعدات اللازمـــة لأداء هذا التشغيل علي الوجه الأمثل فإذا تحدد تشغيل وحدة معينة بعينها في فترة ما فلا بد مـــن أن تكـــون جاهزة للتشغيل في ذلك الوقت أو عند الاحتياج لها ، وهذا التجهيز يمر بالعديد من المراحل المتتابعـــة خصوصا بالنسبة للمحطات الحرارية وبالتحديد المحطات البخارية وهو الأمر الذي يحتاج إلي الوقـــت والمجهود والمال مما يرفع التكلفة الكلية لتشغيل الوحدة بدرجة غير مدرجة في المعادلات الرياضيـــة المستخدمة وفي حزم البرامج الحاسوبية المتعلقة بهذا الموضوع . علي الجانب الآخر نجد المحـــولات الكهربائية قابعة في أماكنها تنتظر التوصيل من خلال المفاتيح CB والسكاكين Isolators الخاصة بـــها وهو ما يمكن أن يتم فوريا تقريبا وبالمثل خلايا الخطوط والمغذيات ولهذا تختلف طريقة دراسة تطوير وتحسين أداء الشبكات الكهربائية باختلاف الغرض من الدراسة والجزء من المنظومـــة التـــي تشـــمل الأجزاء الثلاثة الآتية :

١- المولدات Alternators التي تعمل مع الأحمال المطلوبة سواء كانت تلك الدائمـــة مـــن الشـــبكات الرئيسية للتوليد أو تلك الطارئة التي تعمل في ذات الموقع الذي به الأحمال وكذلك مصـــادر التغذيـــة الأخرى Power Sources .

٢- شبكات النقل والتوزيع Transmission & Distribution وأجهزة الخدمة الملحقة بها.

٣- الأحمال المختلفة الرابضة علي أطراف الشبكة حيث تستلم الشبكة تلك الطاقة من مصادر توليدها و تسلمها للأحمال عند نقاط تواجدها وعلي ذلك فإن شبكة التوزيع تتأثر بكل من مصادر توليد القـــدرة (المولدات) وقضبان استهلا ك الطاقة(الأحمال) .

ففي حالة المولدات يكون الهدف هو خفض كمية القدرة الردية Reactive Power المطلوبة منـــها التـــي تناظر قدرة فعالة معينة أما في حالة الأحمال ومنها المحركات فأن الهدف يصبح خفض كمية القـــدرة الردية التي تطلبها تلك المحركات من مصدر التغذية ولذلك يؤدي ارتفاع معامل القدرة ســـواء عنـــد المولدات أو الأحمال أو في المواقع المختلفة بالشبكة إلى تحسين أدائها منعكســـا علـــي ثـــلاث نقـــاط جوهرية نسطرها في البنود التالية .

١-١: خفض مستوى تحميل الشبكة release of system capacity

رفع معامل القدرة يسمح بخفض تحميل الشبكة مما يسمح بزيادة قدرتها علي استيعاب أحمال إضافيـــة لنفس القدرات المتاحة ولذلك يقصد بتعبير" إراحة الشبكة release of system capacity " أنه مع رفـــع قيمة معامل القدرة تقل قيمة التيار الكلي المار في الشبكة وتنخفض لذات القدرة الفعالة المطلوبة ممـــا يسمح بإضافة أحمال جديدة عليها ، ونظرا لان شبكة التوزيع لها قيمة قصوى من الاســـتطاعة علـــي

حمل التيار فان أي وسيلة لخفض التيارات المارة في أجزائها عن طريق منع أو خفض القدرة الرديـــة المنقولة تزيد بالفعل من إراحة الشبكة مما يسمح بدورة من إمكانية إضافة أحمال جديدة عليها. كمـــا توجد عدة طرق لتحديد مقدار خفض تحميل الشبكة عن طريق رفع قيمة معامل القدرة ومنها :

أولا : إراحة معامل القدرة P. F. Displacement

تستخدم هذه الطريقة مجموعة المنحنيات Chart المبينة (بالشكل رقم ١-١) لتعيين مقدار إراحة الشـبكة بدلالة معامل القدرة الابتدائي ($\cos \theta_1$) ومعامل القدرة النهائي($\cos \theta_3$) ونعطي مثلا لكيفية التعامل مـــع مجموعة المنحنيات في الشكل للحصول علي مقدار القدرة المتاحة عند تحسين معامل القـــدرة ورفعـــه فمثلا نفترض أن حمل المنظومة١ م. ف ا على ٠,٧ معامل قدرة متأخر وأنه قد تم إضافـــة مكثفـــات بقدرة ردية مقدارها٤٨٠ ك فار لتحسين معامل القدرة إلي ٠,٩ وتمثل الكمية٤٨٠ ك فار نسبة ٤٨ % من الحمل الأصلي للمنظومة ١ م. ف ا . بتحديد تلك النسبة علي المحـــور الأفقـــي بالشـــكل (١-١) والصعود بخط رأسي حتى يقابل منحني معامل القدرة الأصلي ٠,٧ ثم رسم خط أفقي يقابل المحـــــور الرأسي نحصل علي النسبة ٢٨,٥ % تقريبا . إن هذا يعني أنة يمكن زيادة تحميل الشبكة بنسبة ٢٨,٥ % على نفس معامل قدرتها الأصلي ٠,٧ وبنفس الكيلو فولت أمبير الأصلي دون زيادة ١ م. ف ا. أما معامل القدرة النهائي بعد إضافة قدرة ردية ٤٨٠ ك فار فهو0.9 تقريبا ويمكن التحقق من ذلك حســـابيا علي سبيل المثال حيث أنه في حالة المنظومة وقبل تركيب المكثفات ولقـدرة (٧٠٠ ك. و. ، ٧١٤ ك. ف. أ. ، ١ م. ف. أ. بمعامل قدرة ٠,٧) فنجدها بعد إضافة المكثفات مع زيادة التحميل بنسبة ٢٨,٥% فتكون القدرة الفعالة هي:

$P = 700+(700 \times 0.285)=900$ kW بينما نحصل علي القدرة الظاهرية بالصورة

$Q = 714+(714 \times 0.285)-480=437$ kVAR حيث تصبح القدرة الكلية S ومعامل القدرة الجديد بالقيمة:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$= \sqrt{(900)^2 + (437)^2} = 1000$$

$$P.F = \frac{900}{1000} = 0.9$$

(1-1)

ثانيا : نوموجرام خط معامل القدرة Nomogram

يبين الشكل (١-٢) طريقه أخرى يمكن بواسطتها تعيين العلاقة بين القدرة الفعالة والقدرة الظاهريـــة عند قيم مختلفة لمعامل القدرة وعند اتباع طريق رسم خط مستقيم بين القدرة الفعالة ومعـــامل القـــدرة يمكن تعيين قيمة الكيلو فولت أمبير المناظر.يتضح من الشكل أن قدرة فعالة مقدارها٨٠ ك. و. علـــى معامل قدرة(٠,٦٥) تحتاج إلى ١٢٣ ك ف ا. بينما تحتاج نفس القدرة الفعالة إلى ٨٩ ك ف ا إذا ارتفع معامل القدرة إلي ٠,٩ أي أن كمية إراحة الشبكة تساوى ٣٤ ك ف أ .

ثالثا : القدرة الردية Reactive Power

تعتمد هذه الطريقة على منحنيات (الشكل١-٣) والجدول (١-١) لتنفيذ هذه الطريقة بين موقع تقـــاطع معامل القدرة الأصلي مع الكميه المراد إضافتها إلى سعه الشبكة ثم تصل على المحور الأفقـــي قيمـــه معامل القدرة المطلوب تحقيقه من الشكل (١-٣) ثم من الجدول(١-١) لتعيين قيمه الكيلو فار اللازمـــة لكل كيلو فولت أمبير من مقدار الخفض فى سعه الشبكة ، لتوضيح ذلك نفترض شبكه عليـــها حمـــلا كاملا على معامــــــــل قدرة٠,٧٥ وتحتاج إلى سعه إضافية لخدمه ٢٠ % زيادة في الحمل الأصلي

حيث يوضح الشكل (١-٣) انه يمكن زيادة سعه هذه الشبكة عن طريق رفع معامل قدرتها إلـى٠,٩٣ ومن الجدول(١-١) وذلك يحتاج١,٧٩٧ ك. ف. أ. ر. / ك. . ف. أ. من سعه الشبكة.

جدول(١-١) : النسية (ك. فار/ ك ف ا) من الطاقة المراحة (%)

Original PF	Power Factor Final Derived										
	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.0
0.95	-	-	-	-	-	-	3.374	3.587	3.873	4.314	5.947
0.94	-	-	-	-	-	3.508	3.210	3.397	3.644	3.816	5.366
0.93	-	-	-	-	2.824	2.934	3.110	3.233	3.451	3.779	4.909
0.92	-	-	-	2.633	2.723	2.825	2.946	3.094	3.287	3.575	4.541
0.91	-	-	2.487	2.553	2.635	2.722	2.835	2.968	3.143	3.395	4.229
0.90	-	2.346	2.407	2.479	2.553	2.638	2.739	2.858	3.011	3.240	3.970
0.89	2.243	2.296	2.332	2.413	2.475	2.558	2.649	2.575	2.896	3.100	3.742
0.88	2.195	2.241	2.293	2.350	2.413	2.484	2.566	2.665	2.792	2.974	3.543
0.85	2.053	2.908	4.140	2.186	2.238	2.293	2.354	2.431	2.524	2.661	3.608
0.80	1.878	1.909	1.939	1.969	2.002	2.041	2.083	2.133	2.196	2.283	3.528
0.75	1.735	1.753	1.775	1.797	1.820	1.846	1.876	1.910	2.952	2.008	2.164

رابعا : معامل التغير في القدرة الكلية Change Rate

تستخدم هذه الطريقة معدل التغير ΔS المطلوب في القدرة الكلية S عند معامل قدرة أصلي [COS φ]من خلال إضافة مكثف بمقنن القدرة الردية بالمعادلة الآتية لتقدير كميه إراحة الشبكة بصـــورة تقريبيـــة نتيجة لتركيب مصدر لتحسين معامل قدرتها :

$$\Delta S = \left[\left(1 - \frac{Q_c^2 * \cos^2 \Phi}{S^2} \right)^{1/2} + \frac{Q_c * Sin\ \Phi}{S} - 1 \right] S \rightarrow when Q_c \geq 0.1s$$

$$\Delta S = Q_c * Sin\ \Phi \rightarrow when Q_c \leq 0.1s$$

(1-2)

١-٢ : تحسين الجهد Voltage Improvement

من الهام تنظيم الجهد voltage regulation علي القضبان المختلفة بالشـــبكة خصوصـــا عنـــد أحمـــال الاستهلاك حيث يستعان بمصادر القدرة الردية في خطوط النقل لتنظيم الجهد بصفة أساسية والتي ترفع الجهد لهبوط الجهد الذي يعتمد بدورة علي مقدار التيار أما في شبكات التوزيع الصناعية أو المـــدارس الصناعية والتي بها العديد من الورش فان استخدام المكثفات بهدف رفع الجهد فقط لا يمكـــن تـــبريره اقتصاديا حيث توجد طرق أخرى اقل تكلفة واسهل استعمالا لأن المكثفات في الشبكات بهدف تحســين معامل القدرة يضيف ميزة إضافية هي تحسين تنظيم جهد تلك المنظومات ويرتبط كـــل مـــن معـــامل القدرة والتيار وتنظيم الجهد معا بحيث أن التغير في أي واحد منهم يؤثر علي الآخرين .

يعرف تنظيم الجهد R % بأنة التغير النسبي في جهد مصدر التغذية E المصاحب لتيـــار الحمـــل I . ويحدث تنظيم الجهد بسبب الهبوط في الجهد خلال المعوقة impedance (Z) الحاملة للتيار من مصـــدر التغذية إلى نقطة الحمل .

$R\%=\{(E-V)/V\}100$, $E=V+I\ Z=V+I\ (R+j\ X)$ (1-2)

باعتبار الجهد مرجعا للمتجهات يظهر للتيارI مركبتان I cos φ في اتجاهVالتيار المرجـــع و I sin φ فـــي الاتجاه العمودي عليه وهو ما يتم التعبير عنه للتيار ذي معامل قدرة متأخر cos φ بالصيغة

$I= I \cos \varphi - j\ I\ \sin \varphi$

تصبح المعادلة الخاصة بالجهد الكلي في الصورة :

$$E=V+(I\cos\varphi - jI\sin\varphi)(R+jX) \qquad (1\text{-}3)$$

$$E= V+I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)]+jI[X\cos\varphi - R\sin\varphi] \qquad (1\text{-}4)$$

الكمية المتعامدة علىV في المعادلة (١-٤) تكون عادة صغيرة بحيث يمكن إهمالها كما يوضح بيـاني المتجهات في الشكل (١- ٤) هذه الحقيقة . وبذلك فان

$$E = V + I(R\,COS\,\varphi + j\ X\,SIN\,\varphi) \qquad (1\text{-}5)$$

على ذلك فان

$$R\,\% = \{ I(R\,COS\,\varphi + j\ X\,SIN\,\varphi)\} / V \qquad (1\text{-}6)$$

بالتأمل في المعادلة (١-٦) نلاحظ أن الكمية $R\cos\varphi$ تعكس قيمة مساهمة القدرة الفعالة فـي هبـوط الجهد dV الناتج عن مرور تيار قيمته أمبير واحد وكذلك الكميه $X\sin\varphi$ تعكـس قيمـه مسـاهمة القدرة الردية في هبوط الجهد الناتج عن مرور تيار قيمته أمبير واحد وعلى ذلك فان تنظيم الجـهد يعتمد على φ في نفس الوقت ، مع ملاحظة أن $\sin\varphi$ تتحدد بقيمة القدرة الردية و $\cos\varphi$ تتحدد بقيمة القدرة الفعالة ، ومن الدراسات الواقعية على معظم الشبكات نجد أن الكمية $X\sin\varphi$ أكبر عدة مـرات (من خمس إلي ١٠ مرات) من القيمة $R\cos\varphi$ لأن المفاعلة أكبر كثيرا عن المقاومة ويكـون تنظيـم الجهد متأثرا بالقدرة الردية مما يستلزم خفضها وصولا إلي الحل الأمثل المؤثر في خفض تنظيم الجهد ويمكن كتابة المعادلة بدلالة المركبة الفعالة للتيار بوحدات الأمبير I_p والمركبة الردية للتيـار I_q (أ) وذلك في الصورة :

$$dV = E - V = R\,I_p \pm j\,X\,I_q \qquad (1\text{-}7)$$

والإشارة الموجبة لمعامل القدرة المتأخرة أما الإشارة السالبة فهي لمعامل القدرة المتقدم كما يتضح من المعادلة (١-٧) انه يمكن دائما التحكم فى تنظيم الجهد والوصول بقيمته الـى الصفـر عـن طريـق استخدام مصدر للقوة الردية يوصل على التوازي مع الحمل ويجب الانتباه جيدا إلـى انـه لا يمكـن لمصدر القدرة الردية التحكم فى معامل القدرة وتنظيم الجهد فى آن واحد ويرجع إلى ارتباط كل مـن معامـل القدرة وتنظيم الجهد مع القدرة الردية بطريقة مستقلـة عن أخـر ولهذا نشير إلي المعادلـة (١-٧) التي توضح لنا أنه للحصول علي تنظيم جهد يساوي الصفر($dV = 0$) يجب أن تكون الكميـة ($R\,I_p - X\,I_q$) مساوية للصفر ، بمعني وجود مركبة ردية لتيار الحمل ، مما يعني أن معامل القدرة هنا قد تحدد سلفا تبعا لقيمة كل من $[I_p]$, $[I_q]$ والعكس كذلك صحيح ، فإن التشغيل علـى معـامل قـدرة الوحدة مثلا يجعل ($I_q = 0$)، مما يعني وجود قيمة للكمية dV وقد تحددت بالفعل .

١-٣ : خفض الفاقد في الشبكة Loss Reduction

يمكن التوصل إلي خفض الفاقد losses بتقليل التيار أى الفاقد الذي يتناسب مع مربع قيمة التيار ومن ثم بخفض القدرة الردية المارة في الشبكة يقل تيار الشبكة وإذا اعتبرنا أن القدرة الفعالة لا تتغير كما هـو الحال عادة فإن معامل القدرة يتحسن (يرتفع) بانخفاض قيمة القدرة الردية وعندما تصبـح القـدرة الردية مساوية للصفر يصبح معامل القدرة مساويا للوحدة ١٠٠% ، ويوضح ذلك (الشكل١-٥) حيـث تحتاج أحمال المحركات التأثيرية إلي مركبة تيار فعال مقدارها ٨٠ أ، ولكن لأن تلك المحركات تحتاج إلي مركبة تيار ردي ٦٠ أ فيصبح التيار الكلي المار بشبكة التغذيـة هـو مجمـوع المتجهـات للمركبتين بمقدار ١٠٠ أمبير ومعامل قدرة ٠,٨ متأخر كما تحدد ذلك بالشكل (١-٥ أ) .

نفترض الآن أنة قد تم تركيب مكثف أو أي مصدر للقدرة الردية علي التوازي مـع الحمـل علـى النـحو المبين بالشكل (١-٥ ب) يلبي هذا المصدر متطلبات الحمل من المركبة الردية للتيـار ٦٠ أ ، ويصبح المطلوب من شبكة التغذية هو مركبة التيار الفعال فقط ٨٠ أمبير ويمر في تلك الشبكة تيار مقداره ٨٠ أمبير بمعامل قدرة يساوي الوحدة ، أما إذا قل التيار المغذي للمحرك من المكثف فيتـم الاستعاضة عن الفرق من الشبكة الكهربية كمافي (الشكل ١-٥ ج) وبهذا فلا توجد استطاعة capacity

ضائعة في الشبكة تستهلك في حمل القدرة الردية ، والطريقة العملية المستخدمة في تحسين معامل القدرة هو استعمال المكثفات في الوفاء بالقدرة الردية اللازمة للأحمال ونلاحظ أن توصيل مصدر القدرة الردية بهذه الطريقة لا يؤثر علي أداء المحرك حيث يظل المحرك يعمل بنفس مركبتي التيار السابقتين حيث تغير تيار التغذية القادم من الشبكة فقط ، وبانخفاض قيمة التيار المار في الشبكة نتيجة لتحسين معامل القدرة فإن الفاقد بالشبكة ينخفض تبعا لذلك وهو أحد المكاسب الجانبية لعملية تحسين معامل القدرة ويظهر هذا المكسب بصورة محسوسة في الشبكات التي تحتوي علي كابلات أو مغذيات feeders طويلة تغذي أحمالا ذات معاملات قدرة منخفضة .

يتناسب الفاقد في الشبكة مع مربع مقدار التيار ولما كان التيار ينخفض بتناسب مباشر مع تحسين معامل القدرة فإن الفاقد يتناسب عكسيا مع مربع معامل القدرة كما يمكن الاستعانة بالعلاقات الآتية على أساس تحسين معامل القدرة إلي قيمة لا تتعدى الوحدة (معامل القدرة بعد التحسين لا يصبح متقدما Leading) حتى لايؤثر في القواطع الكهربية .

$$L\ \% = 100\ \{ COS\ \varphi_1 / COS\ \varphi_2 \}^2 \qquad (1\text{-}8)$$

$$LR\ \% = 100\ [\ 1 - \{COS\ \varphi_1 / COS\ \varphi_2\}^2\ ] \qquad (1\text{-}9)$$

من هنا نستطيع التعبير عن علاقة التيارات في الشكل الرياضي:

$$I_1\ (\ COS\ \varphi_1) = I_2\ \{\ COS\ \varphi_2\ \} = I_p\ ,\ L_{1,2} = (\ I_{1,2})^2\ R \qquad (1\text{-}10)$$

بتطبيق هذا علي أحمال افتراضية لتحسين معامل القدرة من ٠,٨ إلي الوحدة نحصل علي خفض في الفاقد تبعا للمعادلة (١-٩) بنسبة ٣٦% . ويمكن حساب مقدار الطاقة المتوفرة في السنة dE نتيجة لخفض الفاقد من الحمل الكلي S عن طريق تركيب مكثف مقننة Q_c علي خط مقاومته الكلية R بزاوية معامل القدرة قبل التصحيح φ من العلاقة:

$$dE = \{\ Q_c\ R\ (\ 2\ SIN\ \varphi - Q_c\ )\ .\ \ 8760\} / 100\ V^2 \qquad (1\text{-}11)$$

١-٤ : مصادر تحسين معامل القدرة Improvement

يتم تحسين معامل قدرة أي منظومة أو حمل عن طريق خفض كمية القدرة الردية (الشكل ١-٦) المطلوبة من مصدر التغذية ولهذا يجب مراعاة العوامل التالية:

١) مدى اعتمادية الجهاز للعمل دون أعطال أو انخفاض في جودة الأداء .
٢) تفاصيل تعريفة أسعار الطاقة الكهربية وحدود الغرامة أو التميز .
٣) العمر الافتراضي للجهاز .
٤) تكاليف التشغيل.
٥) تكاليف الصيانة.
٦) متطلبات المكان وسهولة التركيب.
٧) ظروف المنظومة من حيث عدد الأوجه (أحادية – ثنائية – ثلاثية) وطبيعة عملها.
٨) انعكاس التأثير علي البيئة.
٩) تكاليف الشراء والتركيب.
١٠) طريقة التعويض المطلوبة .

وتستخدم مصادر القدرة الردية الآتية في عملية التحسين حيث تنحصر في ثلاث محاور هى :

أولا : المحركات المتزامنة SYNCHRONOUS MOTORS

يمكن اعتبار المحركات المتزامنة مصدرا مناسبا للقدرة الردية إذا كانت تلك المحركات موجودة أصلا في المنشأة الصناعية ويمكن القول بصفة عامة أن استخدام المحركات المتزامنة في تحسين معامل القدرة هو مكسب إضافي جانبي لاستخدام تلك المحركات حيث لا يتم تركيبها لمجرد تحقيق عملية تحسين معامل القدرة حيث تعمل المحركات المتزامنة أثناء تحميلها وأدارتها لأحمال ميكانيكية عند معامل قدرة يتراوح بين الوحدة و٠,٨ متقدم حيث تكون تكلفة توليد القدرة الردية أقل ما يمكن عند

العمل داخل هذا النطاق وعلي هذا الأساس فإن الصناعات التي تحتاج إلي استخدام محركات متزامنة في عمليات الإنتاج يمكنها الاستفادة بقدرة تلك المحركات علي تحسين معامل القدرة كما يعتمد مقدار خرج out put القدرة الردية التي يمكن للمحرك المتزامن أن يمد بها الشبكة علي مقدار الإثارة excitation وحمل المحرك تبعا للخصائص الهندسيه للمحرك.

يعرض الشكل (١-٦) أداء القدرة الردية المتقدمة كنسبة مئوية من مقنن المحرك المتزامن بالحصان عند نسب تحميل ومعاملات قدرة مختلفة حيث تظهر القدرة الردية التي يمكن للمحركات المتزامنة العادية أن تسلمها للشبكة تحت ظروف تحميل مختلفة ومجال إثارة عادي ، فعلي سبيل المثال يمكن لمحرك متزامن يعمل علي معامل قدرة ٠,٨ متقدم أن يغذي الشبكة بقدرة ردية ٦٠% من مقنن خرج الحمل الميكانيكي المقنن للمحرك ولكن هذا المحرك يمكن أن يعطي قدرة ردية تكافئ ٧٥% من خرجه الميكانيكي المقنن إذا تم تحميلة بمقدار ٢٠% فقط من مقننة ، وكذلك فإن تجاوز التحميل الميكانيكي علي المحرك يخفض من قدرته علي إمداد القدرة الردية .

ثانيا : المكثفات المتزامنة SYNCHRONOUS CONDENSERS

المكثفات المتزامنة هي في الواقع محركات متزامنة تعمل علي اللاحمل no - load وبمعامل قدرة متقدم صفري ولقد كانت المكثفات المتزامنة هي المصدر الأساسي للقدرة الردية في المنظومات الكهربائية وخاصة منظومات النقل وذلك علي مدي فترة زمنية تزيد علي المائة عاما إلا أنة لعوامل عديدة أهمها العامل الاقتصادي وقد بدأ الاستغناء عن المكثفات المتزامنة منذ أوائل السبعينات وذلك بالنسبة للمنظومات الصغيرة نسبيا كمنظومات توزيع القوي الكهربية وأغلب المنظومات الصناعية ، حيث تم استبدالها بالمكثفات الساكنة وأقتصر استخدام المكثفات المتزامنة علي خطوط ومنظومات التوليد والنقل حيث كان لها ميزة أساسية هي إمكانية إمداد القدرة الردية بكمية كبيرة في لحظات الطوارئ المصحوبة بانخفاض الجهد ، ومع التطور في تكنولوجيا صناعة المكثفات الساكنة والتغلب علي معظم المشاكل المصاحبة لتشغيل تلك المكثفات بدا التوسع في استخدامها في منظومة النقل والتوليد الكبيرة منذ أوائل الثمانينات وأصبح مألوفا استخدام مكثفات ساكنة علي جهود عالية تصل إلي ٥٠٠ ك. ف. بمقننات تصل لأكثر من ٣٠٠ م. ف.أ. ر .

ثالثا : المكثفات الساكنة Static Condensers

لقد كانت المكثفات المتزامنة تتميز علي المكثفات الساكنة بإمكانية استخدامها لتحسين تنظيم الجهد بالإضافة إلي تحسين معامل القدرة . لأن ذلك كان يرجع إلي إمكانية التحكم فيها بطريقة افضل من المكثفات الساكنة إلا أن التطور الكبير فى نظم التحكم الإلكتروني والمصاحب للتطور في صناعة إلكترونيات القوي قد مكن من التحكم في المكثفات الساكنة بصورة جيدة مما أدي في النهاية إلي تفضيل استخدام تلك المكثفات في جميع المنشآت الصناعية ، حيث أنها تتميز بما يأتي :

١- انخفاض السعر وسهولة التركيب.
٢- لا تحتاج إلي صيانة.
٣- تحتاج إلي حيز أقل للتركيب.
٤- تعمل بكفاءة تامة وجودة عالية.
٥- عمرها الافتراضي مرتفع.

إن مبدأ اعتبار المكثف مولدا للقدرة الظاهرية يساعد كثيرا علي فهم سبب استخدامه في تحسين معامل القدرة ويعتبر المكثف مولدا للقدرة الردية لأنه يقوم فعلا بإمداد الأحمال التأثيرية بتلك القدرة وربما يساعدنا الشرح السابق علي فهم ما يحدث بين المكثف والأحمال التأثيرية ، حيث يختزن المكثف الطاقة الردية داخل مجاله الكهربي في الربع الأول من دورة الجهد (٥٠ هيرتز) وتزيد قيمة الجهد خلال هذا الربع من الصفر إلي قيمة الذروة peak value وخلال تلك الفترة ينخفض التيار المار في الأحمال

التأثيرية من قيمة الذروة إلي الصفر ، وينتج عن ذلك أن يتخلص هذا الحمـــل مـــن الطاقـــة الرديـــة المختزنة في مجاله المغناطيسي ، أما في الربع الذي يلي هذا الربع فإن المكثف يعاود تفريغ الطاقـــة الردية المختزنة فيه عندما تنخفض قيمة الجهد إلي الصفر مرة أخري . ويتم استعمال تلك الطاقة فـــي إعادة تكوين المجال المغناطيسي للأحمال التأثيرية حيث ترتفع قيمة التيار مرة أخري من الصفر إلـــي الذروة ويتكرر ذلك باستمرار ، وعلي ذلك ، فإنه يحدث تبادل للقدرة الردية – وبالتالي للمركبة الردية للتيار – بين المكثف والأحمال التأثيرية حيث يقوم المكثف بالفعل بتوليد التيـــار الســـعوي لتعويـــض الأحمال التأثيرية كبديل عن توليد تيارات تعويضية بالشبكة من مصادر التوليد وهو ما يـــؤدي إلـــي خفض محصلة تيار التغذية .

١-٥ : محطات التوليد Generating Stations

تستقل بعض الجهات بالتوليد الخاص كما يوجد أيضا من يضع مثل هـــذا التوليـــد الخـــاص لحـــالات الطوارئ كما هو الحال في المجمعات التعليمية مثل المجمع الموجود بمدينة الإسماعيلية ولهذا الســـبب سوف نستعرض حالتي التوليد المحلي والوسائل الناقلة للطاقة في السطور القادمة .

أولا : محطات التوليد الخاصة Private Stations

تتواجد محطات التوليد الخاصة في المنشات الصناعية عادة إما علي صورة محطة توليد دائمة تعمـــل باستمرار فى ظروف التشغيل والإنتاج الطبيعية وإما على صورة محطة توليد احتياطه يتم تشغيلها في فترات الطوارئ عند انقطاع التغذية من الشبكة الرئيسية أو في فترات الأعطال والحوادث علي ســـبيل المثال كما يرتبط عمل المولد بعمل المحرك الابتدائي prime-mover حيث تتحدد قدره المولد الفعالـــة (KW) بقدرة المحرك الابتدائي بالكيلوات أيضا فلزيادة القدرة الفعالة الكهربية الخارجة من المولد يلزم زيادة القدرة الميكانيكية التي يسلمها المحرك الابتدائي لهذا المولد ، علاوة علي ذلك فان للمولد مقننـــا أخر هو (KVA) يختص به دون المحرك الابتدائي وهو ناتج مـــن ضـــرورة وجـــود مجـــال إثـــارة مغناطيسي excitation field داخل المولد نفسه وذلك لإمكان تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة إلية مـــن المحرك الابتدائي إلي طاقة كهربية وعندما يعمل المولد علي جهد معين فإن مقنن القـــدرة الفعالـــة P والظاهرية غير الفعالة Q ومقنن القدرة الكلية S يرتبطان بالعلاقة

$$P = S \cos\varphi \quad , \quad Q = S \sin\varphi \qquad (1\text{-}12)$$

يتحدد معامل القدرة للمولد $\cos\varphi$ أثناء عملية تصميمه حيث يفترض عادة بقيمة ٠,٨ وعلي ذلك فـــإن المولد بمقنن ١ م.ف.أ يعطي قدرة فعالة ٨٠٠ ك.و كما يمكنه تغذية الشبكة بقدرة رديـــة ٦٠٠ ك. ف. أ. ر. وذلك عند التحميل الكامل للمولد .

ثانيا : محطات التوليد الدائمة

تلجأ المنشآت الصناعية أو المواقع التي تتعامل مع المحركات والأحمال الصناعية مثل الـــورش فـــي المدارس الصناعية إلي إنشاء محطات توليد دائمة خاصة وذلك في حالات متعددة منها ما يلي :

١- عندما تتوافر كمية كبيرة من الطاقة الحرارية الناتجة من العمليات الإنتاجية للمصنع اوالـــورش الأنتاجيه يمكن الاستفادة من تلك الطاقة الحرارية في تشغيل المحرك الابتدائي للمولد .

٢- عند الحاجة إلي مصدر تغذية عالي الاعتمادية reliability عند وجود جودة quality عالية جـــدا ، حيث لا يمكن الاعتماد بصورة كلية علي التغذية من شبكة التغذية الرئيسية .

٣- عندما تكون تكاليف الحصول علي الطاقة الكهربية من الشبكة العامة مرتفعة بصورة محسوســـة بسبب بعد الموقع أو غير ذلك من الاسباب .

تتواجد محطات التوليد الخاصة في حالات خاصة في بعض المدارس الفنيـــة والتـــي تحتـــوي علـــى تخصص السيارات أو الشبكات الكهربية مثل مصانع الغزل والسكر وكذلـــك بصـــورة رئيســـية فـــي صناعات البتروكيماويات ومصانع الصلب و الصناعات الكيماوية وغيرها وهو ما قـــد يظـــهر فـــي المجمعات التعليمية أو بعض المدارس الفنية المتقدمة أو في المستشفيات أيضا ومن المألوف في مثـــل

تلك الحالات أن يتم الاتفاق بين المسئولين في كل من المنشأة الصناعية وشبكة التغذية الرئيسية علـــي طريقة التشغيل بحيث يصبح من الممكن أن يعمل كل من محطة التوليد الخاصة وشبكة التغذية العامـــة على التوازي في تغذية أحمال المنشاة ويظهر في (الشكل رقم ١-٧) مدي تأثير معامل القدرة لمثل هذه الأحمال علي قدرة التوليد من مثل هذه الوحدات المحلية .
أن مواصفات المولد تحدد القدرة الفعالة بالكيلو وات ومعامل القدرة بالإضافة إلي القـــدرة الظاهريـــة بالكيلو فولت أمبير ظاهرى أو مقنن القدرة الكلية (ك. ف. أ.) كحدود يعمل عليها المولـــد بصـــورة متصلة بعد الوصول إلي حالة الاتزان الحراري (درجة حرارة ثابتة) ، ونظرا لأن المولد يتم تصميمه بحيث يعمل علي معامل قدرة معين عند التشغيل علي الحمل الكامل (٠,٨ تقريبا) فإن ذلك يعني أنـــة لإمكانية الحصول علي مقنن الحمل الكامل من القدرة الفعالة يجب ألا يقل معامل قدرة الحمل الذي يتـم تغذيته بواسطة المولد عن معامل القدرة الخاص بهذا المولد . فمثلا لمولد بمقنن قدرة فعالـــة ٤ م. و. ومعامل قدرة ٠,٨ ، أي بقدرة كلية ٥ م.ف.أ. فإن هذا المولد يمكنه أن يغذي حمـــــلا مقـــداره ٤ م.و ومعامل قدرته ٠,٨ متأخر. إذا كان المطلوب من هذا المولد هو تغذية حمل مقـــداره ٤ م .و. ولكـــن بمعامل قدرة متأخر مقداره ٠,٦ فإن ذلك يستلزم رفع الكيلو فولت أمبير المطلوب من المولـــــد إلـــي القيمة (٤/٠,٦= ٦,٦٦ م. ف. أ.) وذلك للحصول علي نفس قيمة القدرة الفعالة ٤ م.و علي معـــــامل القدرة ٠,٦ مما يعني تجاوز المقنن للمولد بنسبة ٣٣.٣٣% ويبين الشكل١-٧ تـــأثير الأحمـــال ذات معامل القدرة المتأخر علي قيمة خرج output المولد المسموحة وذلك للمولدات القياسية ذات معـــــامل قدرة ٠,٨ ويبين الجدول(١-٢) تأثير تغيير معامل قدرة حمل مقداره ٤ م.وعلى الكيلو فولـــت أمبـــير المطلوب من مولد مقنن قدرته الفعالة ٤ م.و ومعامل قدرته ٠,٨ ومقنن قدرته الظاهرية ٥ م.ف.أ كمـا يبين الجدول(١-٢) تأثير تغيير معامل قدرة حمل قدرته الظاهرية ٥ م. ف أ/ م. و. المطلوب من نفس المولد ونلاحظ في هذا الجدول أنة إذا كان معامل قدرة الحمل المطلوب هو ٠,٥ مثلا فـــإن المولـــد لا يمكنه أن يغذي هذا الحمل بقدرة فعاله أكبر من ٢٥٠٠ ك.و وهذا يعني انخفاض القدرة الفعالة لـــهذا المولد بنسبة ([٤ - ٢,٥]/ ٤ × ١٠٠ = ٣٧,٥ %)

جدول (١-٢): تأثير معامل القدرة على القدرة الكلية لمولد ٤ م. و. والفعالة لمولد ٥ م. ف.

p.f.	لمولد ٤ م. و.		لمولد ٥ م. ف. أ.	
متأخر	قدرة فعالة (ك. و.)	تجاوز المقنن الفعال %	قدرة كلية (ك. ف. أ.)	تجاوز المقنن %
٠,٥	٢٥٠٠	٣٧,٥٠	٨٠٠٠	٦٠
٠,٦	٣٠٠٠	٢٥,٠٠	٦٦٦٦	٣٣.٣٣
٠,٧	٣٥٠٠	١٢,٥٠	٥٧٢٠	١٤
٠,٨	٤٠٠٠	٠	٥٠٠٠	٠
٠,٩	٤٥٠٠	٠	٤٤٤٤	٠
٠,٩٥	٤٧٥٠	٠	٤٢١٠	٠

من الجدول (١-٢) نستطيع ان نستنتج الحالتين :
الحالة الاولى : إذا انخفض معامل قدرة الحمل عن معامل القدرة المصمم عليه المولد فلـــن يســـتطيع تغذية حمل ذي قدرة فعالة تساوي قدرته المقننة إلا بزيادة قيمة الكيلو فولت أمبير المقنن للمولد ورغـــم أنه قد يكون من الممكن تحقيق ذلك عن طريق رفع قيمة تيار مجال الإثارة field current داخل المولد، إلا أن ذلك قد يكون له تأثير ضــــــارعلي المجال وربما لا يمكن تحقيقه أصلا في ملفات مجال المولد

ويصبح حل هذه المشكلة محصورا في أمرين ، إما الاستعانة بمولد أخر وهذا مرتفع التكلفة ، وإما تحسين معامل قدرة الحمل عن طريق تركيب مكثف معه علي التوازي ، حيث يقوم هذا المكثف بتعويض النقص في القدرة الردية المطلوبة للحمل والتي لم يستطع المولد الوفاء بها .

الحالة الثانية : في الحالات التي يرتفع فيها معامل قدرة الحمل عن معامل قدرة المولد يصبح بإمكان المولد أن يغذي حملا قدرته الفعالة اكبر من القدرة الفعالة المقننة لهذا المولد ورغم أن هذا ممكن إلا أنة لا ينصح باللجوء إلية دون دراسة مسبقة لأن ذلك يرجع إلي أن أي زيادة في خرج القدرة الفعالة من المولد يجب أن يصاحبه زيادة مماثلة في قدرة المحرك الابتدائي ونظرا لأن القدرة المقننة للمحرك الابتدائي تكون عادة متوافقة مع القدرة الفعالة المقننة لخرج المولد فتجاوز القدرة الفعالة للمولد يصاحبه عادة تجاوز مماثل في القدرة المقننة للمحرك الابتدائي والتي لا تزيد عادة عن ١٠%، كما يوجد بعضا من النقاط الهامة الأخرى والخاصة بتأثير معامل قدرة المولد علي أدائه في المنظومات الصناعية مثل المدارس الفنية والصناعية حيث الورش التدريبية للطلاب أو الورش المدرسية الانتاجية:

١- يتم التحكم في قيمة معامل قدرة المولد عن طريق التحكم في مجال إثارة هذا المولد ويمكن بذلك الحصول علي معامل قدرة متأخر أو متقدم أو يساوي الواحد الصحيح .

٢- كلما انخفض معامل القدرة المتأخر كلما زاد تنظيم جهد المولد . إن هذا يعني أن انخفاض معامل القدرة المتأخر للمولد قد لا يسمح بإمكانية تشغيل المولد علي الجهد الطرفي terminal voltage المقنن له حتى عند الأحمال الصغيرة نسبيا .

٣- يؤدي معامل القدرة المتقدم إلي رفع الجهد الطرفي للمولد مما يتسبب في إتلاف العزل والأجهزة الحساسة لارتفاعات الجهد مثل القواطع الكهربية.

٤- تعمل المولدات علي معامل قدرة متأخر يتراوح بين ٠,٩٠ و٠,٩٥ وفي تلك الحال يجب تحسين معامل قدرة الأحمال الموصلة علي المولد إلي نفس قيمة معامل قدرة المولد نفسه .

٥- تتميز المنشآت الصناعية الضخمة التي تحتوي علي أحمال كهربية تعمل بصورة متصلة بوجود محطة توليد خاصة تعمل علي التوازي مع شبكة التغذية العامة ومن الأفضل في مثل تلك الحالات أن تعمل المولدات الخاصة علي مقنن الحمل الكامل لها بمجال إثارة مرتفع وذلك بهدف توليد أكبر كمية قدرة ردية ممكنة مما يؤدي بدوره إلي رفع معامل القدرة الكلي لأحمال المنشأة الصناعية المطلوب تغذيتها بواسطة الشبكة العامة وهذا يعفي المنشأة الصناعية أو ورش المدارس الفنية انتاجية الطابع من غرامة انخفاض معامل قدرة الطاقة المسحوبة من الشبكة العامة .

ثالثا : محطات التوليد الاحتياطية

تستعمل المولدات الاحتياطية standby generators في إمداد الطاقة الضرورية في حالات انقطاع التغذية من الشبكة العامة فقط وهي بذلك لا تعمل بصفة مستمرة ويصبح من الأنسب في مثل تلك الحالات تحسين معامل القدرة للأحمال بطريقة مباشرة مع مراعاة ضرورة فصل مكثفات تحسين معامل قدرة الأحمال بمجرد انقطاع مصدر التغذية العامة ، ويجب التأكيد علي ضمان عدم السماح بتوصيل المولد الخاص علي حمل سعوي خالص بمقنن يزيد عن ٣٠% تقريبا من مقنن الكيلو فولت أمبير لهذا المولد ، ويمكن تحقيق ذلك بطرق مختلفة نذكر منها استخدام مرحلات تعمل علي فقد الجهد أو استخدام طرق التواشج interlock اليدوي أو الآلي حسب ظروف المنشاة ومن الطبيعي أنة من الممكن الاستغناء عن مكثفات تحسين معامل القدرة أثناء الاعتماد علي المولد الاحتياطي إذا كان هذا المولد قادرا علي تلبية طلب الأحمال من القدرة الردية دون تجاوز القدرة الكلية .

رابعا : المحولات Transformers

تمثل المحولات مصدرا هاما من مصادر استهلاك القدرة الظاهرية في جميع المنظومـــات الصناعيـــة وهي بذلك تساهم في خفض معامل القدرة الكلي للمنظومة ويحتاج المحول إلي قدرة رديـــة لمغنطـــة الدائرة المغناطيسية داخل قلبه الحديدي ويحدث ذلك بمجرد توصيل الملف الابتدائي علي الشبكة ســواء كان المحول محملا من جانبه الثانوي أو بلا حمل فيسحب المحول تيارا (المغنطة) من الشبكة والـــذي يمر في الملف الابتدائي للمحول فقط حيث يكون الملف الثانوي مفتوحا ويتصرف المحـــول كمفـــاعل reactor موصلا علي الشبكة بمحاثة ذاتية Self Inductance عالية القيمة ويسحب تيارا ، مما يؤكد علي أهمية القدرة الردية للمحولات التي تعمل عند اللا حمل وتقدر بحوالي ١- ١٢ % من المقنن الكلي كما هو وارد فى الجدول التالي رقم ١-٣.

جدول (١-٣) : القدرة الردية لمحولات التوزيع (ف. أ. ر.)

ك. ف. أ.	لا حمل ٦-١٧ ك.ف.	حمل كامل ٦-١٧ ك.ف.	لا حمل ٢٤ ك.ف.	حمل كامل ٢٤ ك.ف.	لا حمل ٣٦ ك.ف.	حمل كامل ٣٦ ك.ف.
١٦	١٠٨٠	١٣٦٠	–	–	–	-
٢٥	١٥٠٠	٢١٣٠	١٧٤٠	٢٤٧٠	١٩٥٠	٢٩٨٠
٤٠	٢٠٢٠	٣١٧٠	٢٣٢٠	٣٦٨٠	٢٥٢٠	٣٨٨٠
٦٣	٢٥٠٠	٤٤٦٠	٣٠٢٠	٥٣٠٠	٣٤٨٠	٥٧٦٠
٨٠	٢٧٠٠	٥٣٤٠	٣٥٦٠	٦٥٤٠	٤٢٨٠	٧٢٦٠
١٠٠	٣٦٠٠	٦٩٢٠	٤١٦٠	٧٩٦٠	٥٠٨٠	٨٨٨٠
١٢٥	٤٥٠٠	٨٧٦٠	٥٠٠٠	٩٨٦٠	٦١٤٠	١١٠٠٠
١٦٠	٥٠٠	١٠٥٨٠	٦٠٥٠	١٢٣٩٠	٧٥٠٠	١٣٨٤٠
٢٠٠	٦٣٠٠	١٣٥٥٠	٧١٦٠	١٥١٦٠	٨٩٠٠	١٦٩٠٠
٢٥٠	٧٨٠٠	١٦٩٥٠	٨٦٢٠	١٨٩٧٠	١٠٧٠٠	٢١٠٥٠
٣١٥	١٠٠٠٠	٢١٧٠٠	١٠٣٠٠	٢٣٨٠٠	١٢٦٠٠	٢٦١٠٠
٤٠٠	١٠٨٠٠	٢٥٧٠٠	١٣٢٠٠	٣٠٠٠٠	١٥٢٠٠	٣٢٠٠٠
٥٠٠	١٣٥٠٠	٣٢٣٠٠	١٥٨٠٠	٣٦٨٠٠	١٨٠٠٠	٣٩٠٠٠
٦٣٠	١٧٠٠٠	٤٠٧٠٠	١٨٨٠٠	٤٣٦٠٠	٢١٢٠٠	٤٦٠٠٠

يتميز المحول بمقننين كهربيين هما القدرة الفعالة (ك. و.) والقدرة الكلية بالكيلو فولت أمبير وعند ثبات الجهد فأن مقنن الكيلو فولت أمبير يحدد قيمة التيار المقنن داخل ملفات المحول سواء علـــى الجـــانب الابتدائي أو الثانوي ، وعلى ذلك فان تجاوز مقنن الكيلو فولت أمبير للمحول يؤدى الى تجاوز مقنـــن تيار الحمل الكامل مما يتسبب في رفع درجة حرارة المحول ، ومن ثم تصبح القـــدرة الكليـــة الأهـــم بالنسبة له أما مقنن الكيلو وات يعتمد علي معامل القدرة ولا يمثل أهمية كبيرة بالنســـبة لمواصفـــات المحول عند توصيل حمل على الجانب الثانوي للمحول فانه يسحب تيارا من الشبكة حيث يمـــر هـــذا التيار في كل الجانب الابتدائي والجانب الثانوي للمحول. ونظرا لارتفاع قيمة مفاعلة المحول نسبيا فان مرور هذا التيار يتطلب قدرة ردية من الشبكة تعتمد قيمتها على قيمة التيار المسحوب ولهذا نجـــد أن القدرة التي يتطلبها المحول من الشبكة تعتمد على :

١- القدرة الردية (شكل ١-٣) اللازمة لمغنطة قلب المحول التي لا تتغير مع حالة تحميل المحول.

٢- قيمة تيار الحمل المراد تغذيته التي تعتمد على كل من القدرة الفعالة للحمل ومعامل قدرته ومثـــلا عند تغذية حمل قدرته الفعالة P على معامل قدرته P. F. وجهد V فأن التيار المسحوب هو

$$I_1 = P / \{ (3)^{1/2}\ V\ COS\ \varphi_1 \} \qquad (1\text{-}13)$$

لذلك كلما ارتفعت قيمة معامل قدرة الحمل كلما انخفض التيار لنفس قيمة القدرة الفعالة وينتج عن ذلـك إمكانية تحميل المحول بحمل اكبر فعند تحسين معامل القدرة من ٠,٧ إلى ٠,٩ مثلا يؤدى إلى خفض قيمة التيار حوالي ٢٨% وذلك لنفس القدرة الفعالة يبين الشكل ١-٨ تأثير معامل قـدرة الحمل المتأخر على استطاعة المحول لتحمل القدرة الفعالة (ك. و) لنفس القدرة الكليـــة (ك. ف. أ.) بينما يجدول الجدول ١ - ٤ الزيادة المتاحة في القدرة الفعالة كنسبة مئوية من قدرة المحـــول المقننـــة وذلك عند رفع معامل القدرة إلى ٠,٨٦

جدول (١-٤) زيادة قدرة المحول بتحسين معامل القدرة إلى (٠,٨٦)

معامل القدرة الابتدائي	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨
الزيادة المتاحة في القدرة %	٦٥	٥٣	٤٢	٣٠	١٨	٧

تستخدم المعادلة القياسية الآتية لحساب تنظيم جهد المحول R % عند مقنن الحمل الكامل لجهد ومعـــامل متأخر مفاعلة عند الحمل الكامل Vx وعلي المقاومة Vr وذلك للمحولات ذات المعوقة حتى ٢٠ % أما للقيم الأكبر يلزم الرجوع إلي الصانع والمصمم في هذا الشأن حيث معامل قدرة تيار المحول الثـــانوي (معامل القدرة بين تيار الحمل والجهد الثانوي للمحول):

$$R\ \% = V_x \sin\varphi + V_r \cos\varphi + \{V_x \cos\varphi - V_r \sin\varphi\}^2/200 \qquad (1\text{-}14)$$

أما في حالة معامل القدرة المتقدم فيمكن الاستعانة باستخدام المعادلة الآتية :

$$R\ \% = -V_x \sin\varphi + V_r \cos\varphi + \{V_x \cos\varphi + V_r \sin\varphi\}^2/200 \qquad (1\text{-}15)$$

تتميز المحولات بأن جهد مفاعلاتها أكبر بكثير من جهد مقاومتها (من خمسة إلي عشـــرة أضعـــاف) ولكي نتصور تأثير معامل قدرة الحمل علي تنظيم جهد المحول نعتبر محولا جهد مقاومته ١% وجـهد مفاعلة ٥% باستخدام المعادلتين ١-١٦ و١٧ نحصل علي النسبة الخاصة بمعامل قدرة الحمل (٠,٨) متأخر بالصورة ($5 \times 0.6 + 1 \times 0.8 + (5 \times 0.8 - 1 \times 0.6)^2/200 = 3.857\ \%$) وبالنسبة لمعامل قـدرة الحمل يساوى الوحدة نجدها ($5 \times \{0\} + 1 \times 0.8 + (5 \times 0.8 - 1 \times 0)^2/200 = 1.125\ \%$) وفـــي حالـــة معامل قدرة الحمل (٠,٨) متقدم تكون النسبة هي ($5 \times \{-0.6\} + 1 \times 0.8 + (5 \times 0.8 + 1 \times 0.6)^2/200 = 2.094\ \%$) مما يتضح معه أنه كلما ارتفع معامل قدرة الحمل كلما انخفضت قيمة تنظيم جهد المحـول كما أن معامل قدرة الحمل المتقدم قد يؤدي إلي تنظيم جهد سالب علي المحول ممـــا يسـبب ظــهور حالات شاذة من التشغيل مثل الإثارة الزائدة التي تتسبب في الموجات التوافقية بالإضافة إلي احتمـــال تلف المواد العازلة للمحول والأجهزة و الأحمال نتيجة للارتفاعات الزائدة في جهد الجـــانب الثـــانوي للمحول الناشئ من تنظيم الجهد السالب .

يتم تعويض القدرة الردية للمحول بهدف تحسين معامل القدرة عن طريق توصيل مكثف علي أطـراف الملف الثانوي للمحول مباشرة حيث يمكن استخدام مكثفات الدلتا أو النجمة لتحسين معامل القدرة وهـو ما يتم حسابه بالصيغة الرياضية التقريبية : ($Q_c = S_t Z / 200$) وهي تعتمد علي أساس إهمال معوقـــة شبكة تغذية المحول علي الجانب الابتدائي ومع ذلك فيمكن الاعتماد علي دقة هذه المعادلـــة إذا كـــان منسوب قصر الشبكة اكبر من مائة مرة من مقنن قدرة المحول بالكيلو فولت أمبير أما إذا قل منســوب القصر عن ذلك فيجب إضافة معوقة الشبكة إلي معوقة المحول في المعادلة(١-١٨) ويظهر تأثير ذلك علي قيمة التيار الناتج بعد تحسين معامل القدرة كما في (الشكل رقم ١-٩) . أن عملية اختيار مقنـــن المكثف المناسب توصيله علي المحول تخضع لاعتبارات اقتصادية وأخرى فنية هامة خاصة بالشـبكة ذاتها ومن هذه الاعتبارات ما يلي:

* احتمال حدوث ارتفاع في جهد أطراف المحول ينشأ عنة مجال مغناطيسي زائد في قلبه كما سـبق توضيحه مما ينتج موجات توافقية في تيار المحول مما يزيد من احتمال حدوث الرنين resonance فـي الشبكة علي إحدى هذه الموجات التوافقية المتولدة.
* قد يتسبب توصيل المكثف علي أطراف المحول مباشرة في حدوث تجاوزات خطيرة في مقادير جهد أطراف المحول فى الحالات التي يكون فيها كل من المكثف والمحول موصلين معا علي محركـات تأثيرية induction motors ، أن ذلك يحدث عندما يتم فصل الدائرة عن مصدر التخزين بينما تكون تلك المحركات عاملةمما يتم فصل الدائرة عن مصدر التخزين بينما تكون تلك المحركات ما زالت دائـرة وهذه النقطة سوف توضح فيما بعد .

جدول (١-٥) : مقننات المكثفات للتوصيل المباشر على المحولات

مقنن المحول	مقنن المكثف (ك.فار)، عند جهد (ك.ف)		
(ك.ف.أ)	٥ / ١٠ك.ف.	١٥ / ٢٠ ك.ف.	٢٥ / ٣٠ ك.ف.
٢٥	٢	٢,٥	٣
٤٠	٣	٤	٥
٥٠	٤	٥	٦
٦٣	٥	٦	٧
٧٥	٥	٦	٧
٨٠	٦	٧	٨
١٠٠	٦	٨	١٠
١٢٥	٧	٨	١٠
١٦٠	١٠	١٢	١٥
٢٠٠	١٠	١٢	٢٠
٢٥٠	١٥	١٨	٢٢
٣١٥	١٨	٢٠	٢٥
٤٠٠	٢٠	٢٢	٢٨
٥٠٠	٢٠	٢٥	٣٠
٦٣٠	٣٠	٣٢	٤٠
٧٥٠	٣٠	٣٥	٤٥
١٠٠٠	٤٥	٥٠	٥٥

* يتم اختيار المكثف المناسب للمحول بحيث تتراوح قيمة أقصى مقنن له بين ٤٠ و ٦٠% من مقنن المحول ويمكن الاستعانة بالجدول (١-٥) في هذا الشأن .
* إن التوصيل الدائم للمكثف علي أطراف الجانب الثانوي للمحول يؤدي إلي رفع الجـهد للأحمـال وجهد الحمل الكامل علي جانبي المحول ولكنة لا يؤثر علي تنظيم جهد المحول نفسه حيث يتأثر تنظيم الجهد بالمكثفات المتصلة علي الأحمال التي يتم توصيلها وفصلها مع توصيل وفصل تلـك الأحمـال ويمكن استعمال المعادلة رقم ١-١٦ لتعيين قيمة تقريبية للارتفاع الجهد نتيجة لتركيب مكثـف علـي أطراف الملف الثانوي للمحول وهى

$$dV\,\% = Q_c\,Z / S_t \qquad (1\text{-}16)$$

حيث dV % هي النسبة المئوية للارتفاع الجهد عند الحمل الكامل للمحول .

خامسا : الخطوط Lines & Cables

قدمنا في البند السابق دراسة لتأثير معامل القدرة علي شبكات التوزيع منخفضة الجـــهد ٣٨٠ / ٢٢٠ ف. سواء كانت صناعية أو في الورش المدرسية بصفة عامة حيث تتميز تلك الشبكات بصغر حجمـها الجغرافي بالنسبة لخطوط النقل حيث تتركز الشبكة الصناعية داخل حدود المشاة وتتكون عـــادة مـــن كابلات كثيرة ذات أطوال قصيرة نسبيا وعلي ذلك فأن دراسة تأثير معامل القدرة علي تصميـم وأداء كل كبل علي حدة يكون غير عملي ويصبح من الأنسب دراسة تأثير معامل القدرة الإجمالي للشـــبكة والذي يتحدد عادة بمعاملات القدرة و الأحمال الصناعية التي تغذيها تلك الشبكة علاوة علي ذلك فـــأن الكابلات لا تعتبر مصدرا هاما من مصادر استهلاك القدرة الردية حيث أن محاثة الكابلات منخفضـــة جدا بصفة عامة (حدود ٠,٣ ميكرو هنري لكل متر) وعلي العكس من ذلك فأن ارتفاع القيمة النسـبية للمفاعلة السعوية للكابلات بصفة عامة يجعلها مصدرا من مصادر تعويض القدرة الردية - ومن ثـــم تحسين معامل القدرة - في الشبكات الصناعية أو في الورش المدرسية .

تصميم خطوط النقل الهوائية يعتمد في المقام الأول علي التيارات المارة في تلك الخطوط ، ويبدو ذلك واضحا في خطوط الجهد المنخفض حيث تكون درجة حرارة الموصل هـــي المعـــامل الحاســـم فـــي التصميم إما في خطوط النقل ذات الجهد العالي والفائق فتوجد عوامل أخري أكثر أهمية في التصميـــم كتيارات القصر وغيرها كما تتميز خطوط النقل الهوائية بأن لها مفاعلة حثيه عالية نسبيا (٠,٣ - ٠,٥ أوم/ كم مربع / طور) وعلي ذلك فإنها تعتمد على قيمة التيار المار في الخط تبعا للعلاقة :

$$Q = I^2 \ X \qquad (1\text{-}17)$$

حيث [x] هي المفاعلة الحسية للخط (أوم) و [I] مقدار التيار المار فيه (أمبير) و [Q] القـــدرة الرديـــة بالفار لكل طور، وبفرض أن التيار المار في الخط [I] له مركبتان متطورة IN- PHASE مـــع الجـــهد ومتأخرة عنة بزاوية ٩٠ ° فأن متجة التيار يأخذ الصورة :

$$I = \{ I_p^2 + I_q^2 \}^{1/2} \qquad (1\text{-}18)$$

يمكن خفض قيمة التيار I باستعمال مصدر للقدرة الردية يرفع معامل قدرة تيار الخط فيعطى إمكانيـــة زيادة تحميل الخط وجميع الأجهزة الأخرى مما يجعل في الإمكان تأجيل إضافة خطـــوط أخـــرى أو تعديلات مستقبلية ويظهر تأثير معامل القدرة علي النسبة المئوية لخفض تيار الخط المغذي للقدرة وذلك برفع معامل القدرة الأصلي إلي المعامل الجديد كما تؤدي عمليات نقل وتوزيع القدرة الردية إلي ظهور نوعين من الفاقد هما: (الفاقد في قدرة فعالة خلال المقاومات - الفـــاقد فـــي قـــدرة رديـــة خـــلال المفاعلات) وهو ما نسطر له الفترة التالية.

١-٦ : الفاقد في القدرة

يمثل الفاقد في القدرة أهم المحاور التي تدخل في عناصر التقدير من أجل رفع معـــامل القـــدرة ومـــا يعكسه ذلك علي الجانب الاقتصادي وتكلفة التشغيل مما يلزم معه العرض التالي من عناصر الفقد :

أولا: الفاقد في القدرة الفعالة

تتحول المفاقيد في القدرة الفعالة داخل المقاومات إلي طاقة حرارية تتسبب في رفـــع درجـــة حـــرارة الآلات و الأجهزة و خطوط النقل ويقاس ذلك الفاقد بالكيلو وات حيث تتحول إلـــي طاقـــة حراريـــة بمرور الزمن تقاس بالكيلو وات ساعة ، حيث يلزم دفع ثمن تكاليف الطاقة المفقودة ويمكن حســـاب الفاقد في القدرة الفعالة Pa نتيجة التيار الكلى I ذات المركبة الفعالـــة Ip والرديـــة Iq (الأمبـــير) فـــي منظومة ثلاثية الأطوار لها مقاومة R كما يأتي:

$$P_a = 3 \ I^2 R = 3 \ (I_p^2 + I_q^2) \ R \qquad (1\text{-}19)$$

يتضح من المعادلة ١-١٩ أن مقدار الفاقد في القدرة الفعالة بسبب المركبة الردية للتيار لا يعتمد علـــي مقدار القدرة الفعالة المنقولة التي تتحدد بقيمة[Ip] فقط ، وعلي ذلك فأن انخفاض معامل قـــدرة التيـــار الكلي يناظره ارتفاع نسبي فى قيمة [Iq] وذلك لنفس قيمة القدرة الفعالة مما يؤدي بالضرورة إلي زيادة الفاقد في النقل .

تحسب الفاقد في القدرة الفعالة لكل جزء من أجزاء الخط أو الشبكة علي حدة ويمكن حساب مقاومة موصل الكابل R بطول L متر بمقطع A مم٢ في حالة عدم توافر بيانات عنها باستعمال العلاقة التقريبية الآتية بصورة مقبولة طبقا للاستخدامات والتطبيقات العملية :

$$R = k \; L / A \qquad (1\text{-}20)$$

المعامل k عبارة عن ثابت تبعا لنوعية القلب (للكابلات النحاسية k= 0.02 ولكابلات الألمنيوم k= 0.033) ، أما للمحولات فيمكن حساب مقاومة المحول [R] بدلالة مقاومة المحول وجهد التخزين المحسوبة عليها المقاومة V بالفولت والقدرة المقننة للمحول بالفولت أمبير S_N من خلال استعمال العلاقة:

$$R = r_k V^2 / S_n \;,\quad r_k = P_k / S_n \qquad (1\text{-}21)$$

حيث مقاومة قصر الدائرة r_k (تسمي أحيانا جهد مقاومة المحول) بناء علي القدرة الفعالة بالوات والمستهلكة بواسطة المحول عندما يمر تيار المحول المقنن في أحد الملفين بينما الملف الأخر يكون مقصور أو يتم الحصول علي قيمة القدرة $[P_k]$ من بيانات لوحة مقننات المحول عادة أو من الجداول القياسية وبذلك تعطى العلاقة السابقة قيمة مقاومة القصر.

ثانيا : الفاقد في القدرة الردية

يمكن دراسة الفاقد في القدرة الردية Q بطريقة مستقلة عن الفاقد في القدرة الفعالة بدلالة التيار I كمركبة عمودية علي الجهد في وجود مفاعلة X أوم ولكن بنفس الطريقة ولا يعتمد الفاقد علي قيمة القدرة الفعالة المنقولة وتعطي المعادلة الآتية الفاقد في القدرة الردية Q في منظومة ثلاثية الأطوار:

$$Q = 3 \, I_p^2 \; X \qquad (1\text{-}22)$$

ويمكن حساب مفاعلات الكبلات بمعلومية محاثاتها L بالأوم / كم عند التردد f وذلك باستخدام العلاقة

$$X = 2\,\pi f\, L \qquad (1\text{-}23)$$

يتبع هذا وضع موقع تركيب مصدر القدرة الردية علي خصائص التشغيل في الدراسة كي تكتمل الرؤية لهذا الجانب من الموضوع ومن ثم فان تركيب مصدر للقدرة الردية بهدف تحسين معامل القدرة ينتج من خفض سريان تلك القدرة في المنظومة الكهربية انطلاقا من هذه القاعدة فإنه من الطبيعي أن نحصل علي أفضل مكسب عند وضع مصدر القدرة الردية بالقرب من الحمل المراد مؤديا إلي تحسين معامل قدرته بقدر الإمكان كما نري في (الشكل ١-١٠) ومع ذلك فتوجد حالات وظروف تجعل القاعدة غير مناسبة مثل:

١- حدوث رنين مصحوب بتجاوز كبير للتيار وتحدث ظاهرة الرنين عادة بسبب وجود الموجات التوافقية للتيار وعلي ذلك فإن وجود المكثفات علي دوائر الجهد المنخفض بجانب الحمل مباشرة غير عملي وقد يصل بنا إلي حدود الخطورة.

٢- كثرة عدد الأحمال مع اختلاف مقنناتها مما يتطلب استعمال أحجام وأنوع مختلفة من المكثفات والذي يؤدي بدورة إلي رفع أسعار واقتصاديات عملية تحسين معامل القدرة .

٣- حدوث بعض الظواهر الضارة مثل تجاوز الجهد والتيارات المرتفعة العالية في المحركات .

هناك حالات كثيرة من التشغيل نجد فيها أنة من الأفضل تجميع المكثفات بحيث يتم عزلها عن مصادر الموجات التوافقية للتيار وكذلك لتجنب الظواهر غير مرغوب فيها يتم توصيل المكثفات علي التوازي بإحدى الطرق المبينة وذلك علي النحو التالي :

١- توصيل محلي لتحسين معامل القدرة لكل جهاز أو أله بطريقة منفردة حيث يتم توصيلها مع المكثف علي التوازي مع المغذيات الصغيرة أو علي الدوائر الفرعية للمحركات أويتم التوصيل مباشرة علي المحرك أو الحمل أو مجموعة الأحمال الصغيرة و يتم فتح وقفل تلك المكثفات مع المحرك بحيث يكون أقرب ما يمكن للحمل وذلك للحصول علي أكبر فائدة ممكنة (الشكل ١-١١) .

عند استخدام التحسين الفردي عن طريق التوصيل المحلي نحتاج عادة إلي أحجام و أنواع مختلفة من المكثفات ومع هذا فتوجد بعض الحالات المفضلة ففي حالة وجود مغذيات طويلة تصل بها أحمال في

نهايتها فأن تحسين معامل القدرة علي الحمل مباشرة يؤدي إلي خفض التيار المار بالمغذي مما يــؤدي بدورة إلي إمكانية كابلات أقل حجما بالإضافة إلي خفض الفاقد في النقل .

يتم تحديد سعر المكثف علي أساس سعر الكيلو فار الواحد من مقنن المكثف فعلي سبيل المثال إذا كان سعر المكثف ٥٠ كيلو فار هو ١٠٠ وحدة نقدية فإن سعر الكيلو فار من هذا المكثف يساوي ٢ ومــع ذلك فإن تلك الميزة لمكثفات الجهد المتوسط غير مؤثرة بسب ارتفاع أسعار أجهزة الحماية و التحكــم لمكثفات الجهد المتوسط تبعا للمواصفات علاوة على أن هذه الاسعار في حاله ديناميكية مستمرة.

٢. توصيل تجميعي Group correction تعرف هــذه الطريقــة أيضــا باســم التوصيــل المركــزي centralized correction ويتم تركيب المكثف علي قضبان التوزيع التي تغذي مجموعة من الأحمـــال (الشكل ١-١٢) ، أو علي مصدر التغذية الرئيسي سواء علي جانب الجـــهد العـــالي مـــن المحـــول ويفضل هذا في الحالات الآتية :

* ضرورة عزل المكثف عن مصادر الموجات التوافقية .
* عدد الأحمال والمحركات كبيرة وضخمة بحيث يصعب عمليا تحسين كل حمل علي حدة وخاصة إذا كانت تلك المحركات تعمل علي جهد منخفض .
* مع طبيعة التغيرات الكبيرة في أحمال المغذيات المختلفة نتيجة للتغيرات الحادثة في دورة الحمـــل load cycle تبعا لعمليات الإنتاج المختلفة .

نلاحظ من الشكل أن المحول الرئيسي لا يستفيد من تحسين معامل القدرة الـــذي يحققـــه المكثـــف ولا يتحقق للمحول أي إراحة لتحميل الكيلو فولت أمبير بينما تركيبه جهة الجهد المنخفـــض للمحـــول قـــد يخفض من مقدار تيار المحول في كل من الملف الابتدائي والثانوي فيسمح بزيادة تحميلة وهـــذا هـــو السبب الفني الرئيسي لتفضيل تركيب المكثفات جهة الجهد المنخفض بصرف النظرعن التكلفة .

يحدث في بعض الشبكات الصناعية والورش التعليمية أحيانا أن يتكرر تغير سريان التيـــار بصـــورة واضحة من مركز التوزيع الرئيسي إلي المواقع المختلفة في الشبكة وكذلك إلي الأحمـــال الفرديـــة . يفضل في مثل تلك الحالات اختيار موقع مكثف التحسين التجميعي بحيث يكون في المركز الكـــهربي للأحمال بقدر الإمكان ، أي علي نفس البعد تقريبا من جميع الأحمال الفردية . إن ذلك يســـاعد فـــي عملية فصل أجزاء من المكثفات الموجودة في مثل تلك الحالات حيث تعمل علـــى تحســـين لمعـــامل القدرة في جزء محدود من الشبكة أولا ثم باقي الشبكة .

تغذي المكثفات الدائمة الشبكة بكمية من القدرة الردية بصفة دائمة أما المكثفات المتحكم فيها ذاتيا فإنها تزود بمنظم متحكم في القدرة الردية بحيث يعمل فصل أو توصيل القدرة الردية علي خطـــوات فـــي حدود [١٠٠-٥٠] كيلو فار للخطوة الواحدة وتوجد أنواع مختلفة من أجهزة التحكـــم المســـتعملة فـــي مجالات الصناعة حساسة لأحد كميات تشغيل الشبكة (الجهد - التيار - الكيلو فار ....) كمـــا توجـــد بعض الأنواع التي تعمل تبعا لخطة زمنية محددة يتم وضعها تبعا لتغير دورة الحمل اليومـــي ويلـــزم اختيار الطريقة الأنسب لظروف التشغيل .

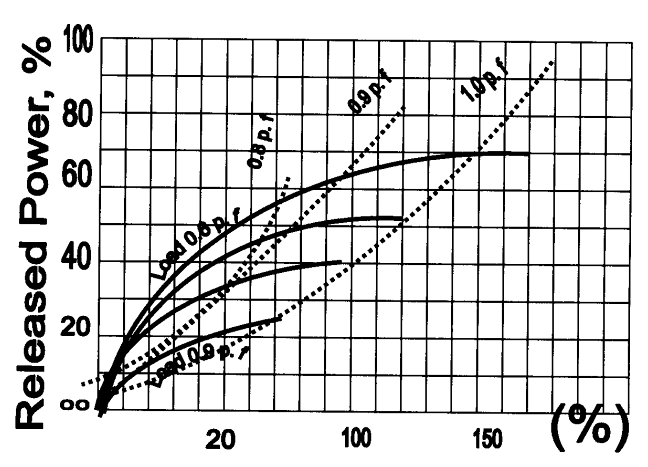
إن اللجوء إلي التحسين المركزي يصبح مفيدا عند وجود أعداد كبيرة من الأحمال أو عندما تكون دورة الحمل حادة التغيرات بحيث يلزم فصل المكثفات أو توصيلها تبعا لقيمة الحمل .

من المناقشة السابقة يمكن القول بأن اختيار الطريقة المناسبة التي يتم بها توصيل المكثف يجب أن تتـم بعد دراسة دقيقة لظروف التشغيل ويجب علي وجه الخصوص ادخال بعض العناصر والعوامـــل فـــي الاعتبار مثل :

* اقتصاديات الشراء والتركيب .
* طبيعة الأحمال وأجهزة الخدمة (محركات - أفران - محولات ...) .
* شروط وخطة التشغيل ، كأن تعمل مجموعة من الأحمال مثلا فـــي نفـــس الوقـــت أو أن توصـــل مجموعة من الأحمال المعينة علي قضيب توزيع واحد أو غير ذلك .

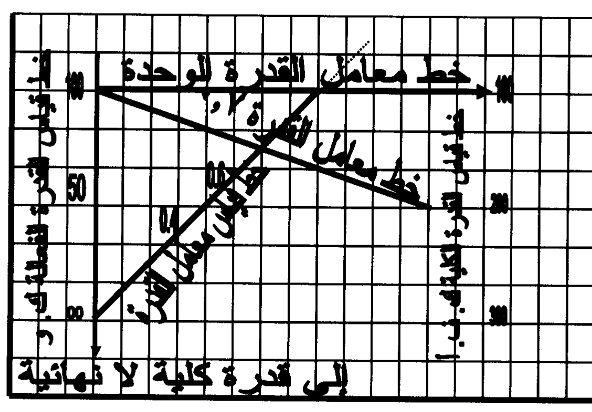
* تجنب ظواهر معينة كالرنين والموجات التوافقية وارتفاعات الجهد العابرة والمستقرة .

- شروط عقد توريد الطاقة الكهربية بين المستهلك وشركة الكـــهرباء المســـئولة عـــن التغذيـــة الكهربية ، فتكون طريقة حساب الطاقة مشجعة علي اللجوء إلي طريقة بذاتـــها مـــن طـــرق تحسين معامل القدرة .

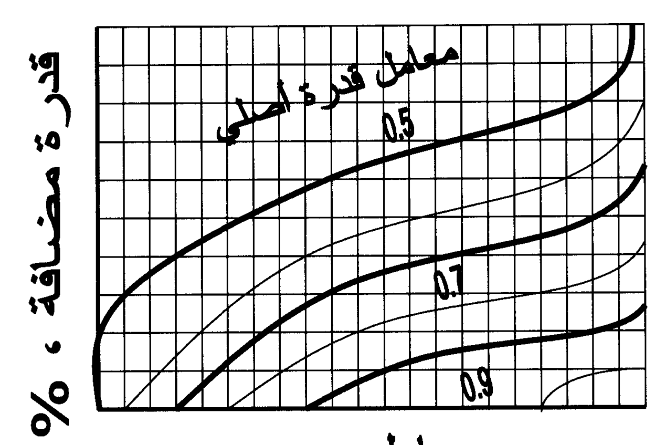


kVAR of Condenser to Initial kVA

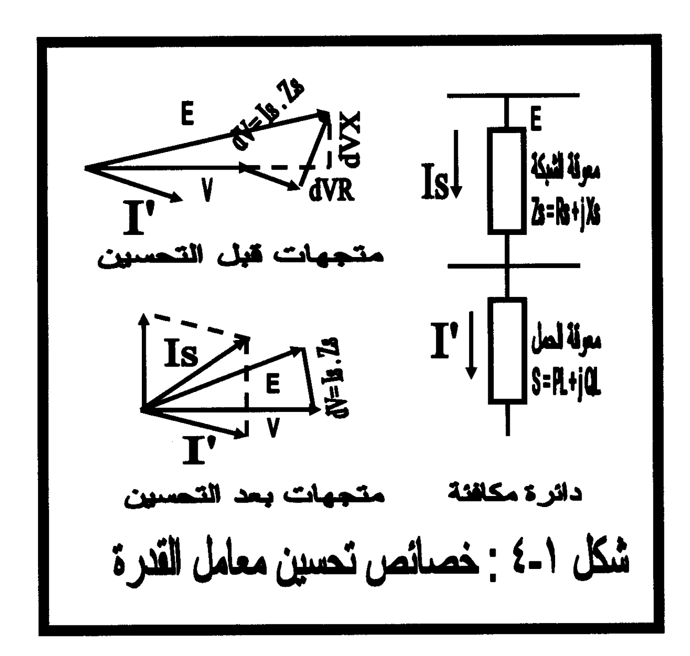
شكل ١-١: تحديد تغيرات معامل القدرة لإراحة الشبكة



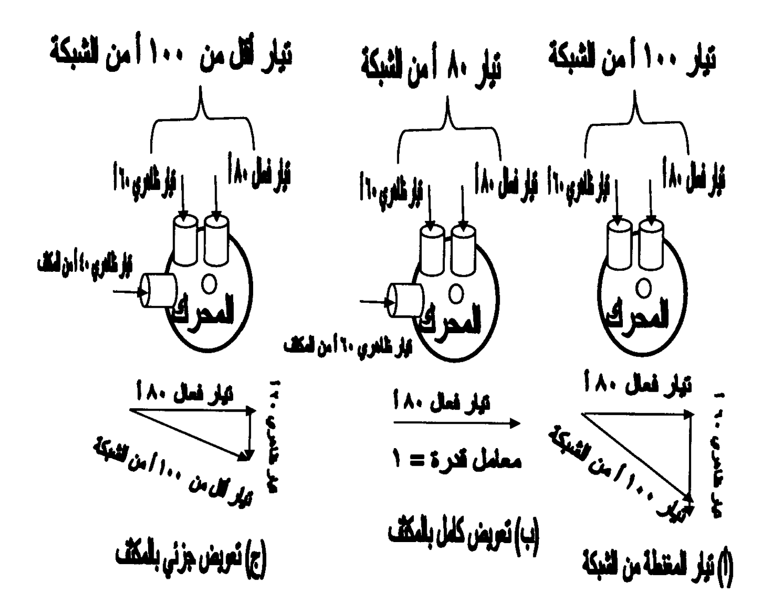
شكل ١-٢ : نوموجرام القدرة الفعالية والكلية



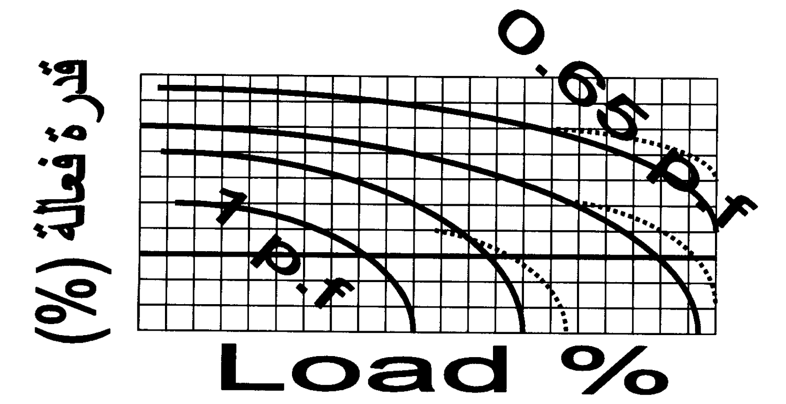
شكل ١-٣ : القدرة الردية اللازمة للتحسين



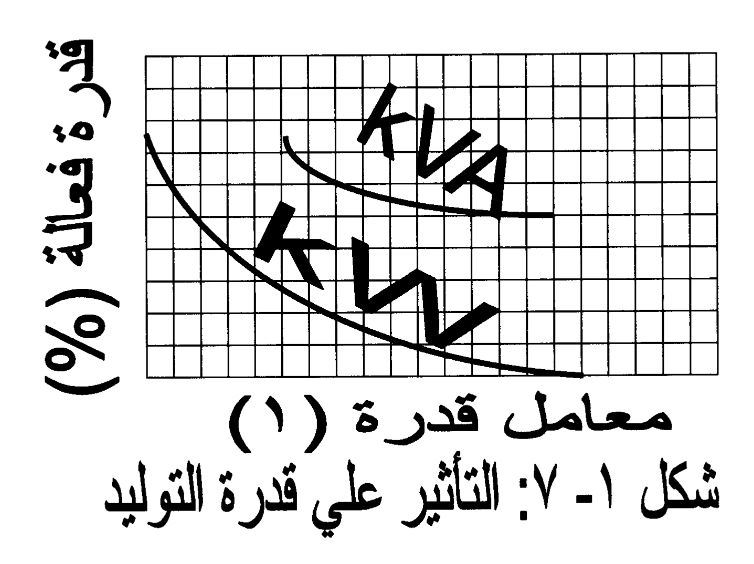
شكل ١-٤ : خصائص تحسين معامل القدرة



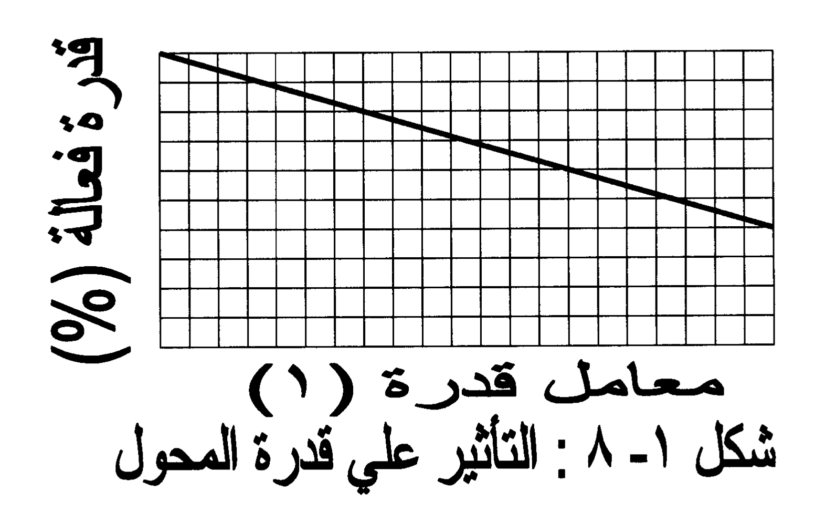
شكل(١-٥) أسلوب خفض تيار التغذية



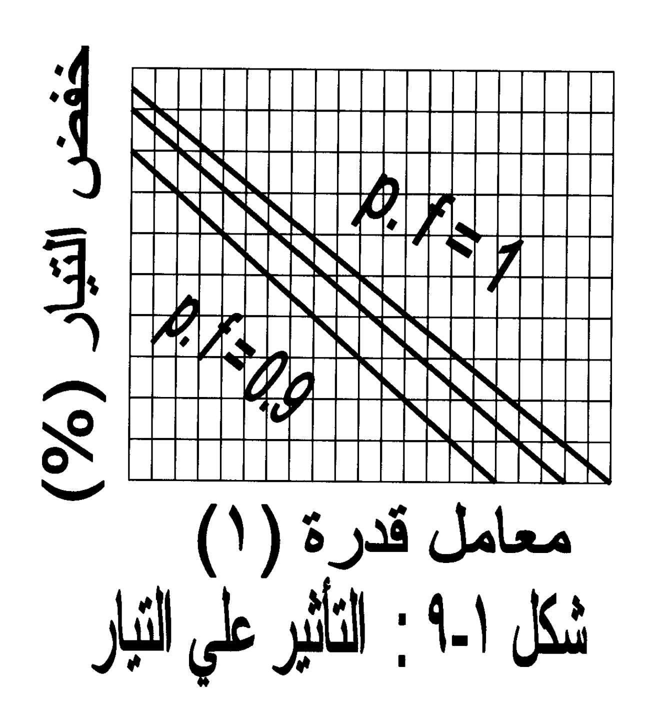
شكل ١- ٦: تأثير القدرة الردية



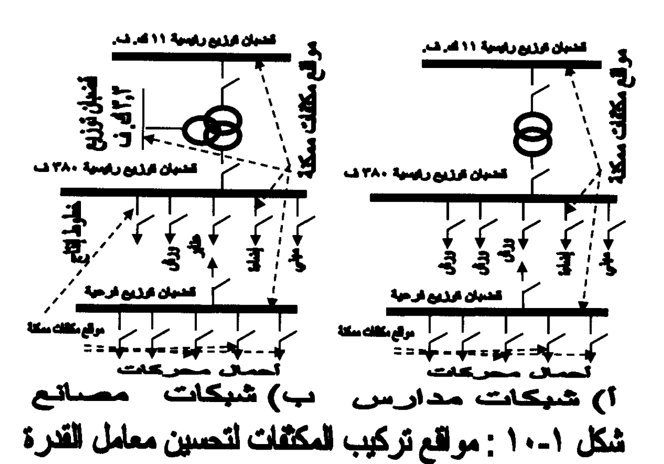
شكل ١- ٧: التأثير علي قدرة التوليد



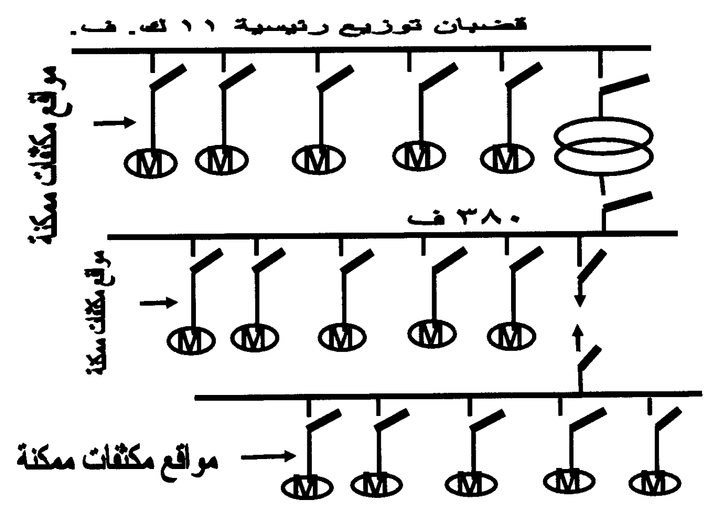
شكل ١- ٨ : التأثير علي قدرة المحول



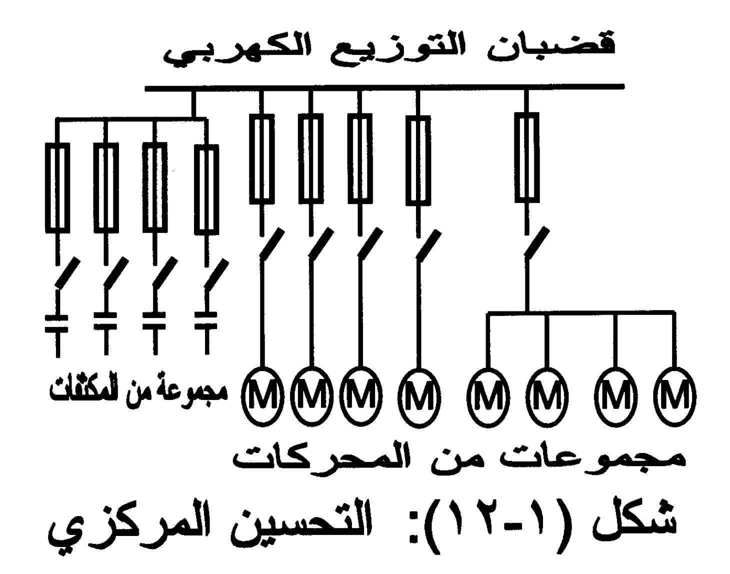
شكل ١-٩ : التأثير علي التيار



شكل ١-١٠ : مواقع تركيب المكثفات لتحسين معامل القدرة



شكل ١- ١١ : مواقع تركيب الفردي للمكثفات لتحسين معامل القدرة لكل كحرك علي حدة



شكل (١-١٢): التحسين المركزي

الباب الثاني

أداء المحركات التأثيرية

INDUCTION MOTOR PERFORMANCE

الأحمال الكهربية ليست ثابتة باستمرار لأنها تتغير لحظيا فتسبب تغيرا في كلا من الجهد ومعامل القدرة مما يضيف من التعقيدات إلي دراسة موضوع سريان الأحمال بالطريقة المثلي خلال القنوات الكهربائية بالشبكة الموحدة ومع ذلك فإن العمل علي تشغيل الوحدات أو المحولات وبصورة عامة تحميل مكونات الشبكة يعتمد علي أسلوب توزيع هذه الأحمال فيما بينهم وحتى يكون ذلك بطريقة مثلي فإنه يجب أن تتبع العديد من الأسس والخطوات للتعامل مع عملية توزيع الأحمال طبقا لمنحنيات الأحمال ديناميكية الطابع .

تمثل الذروة الأوقات العصيبة أمام المعدات أو مهندسي تشغيل الشبكات الكهربائية عموما في مواقع الأحمال حيث تصل الأحمال إلي أقصى قيمة لها وعندئذ يقع عبء توزيع هذه الأحمال بين محطات التوليد علي مهندسي مركز التحكم الخاص بتشغيل هذه الشبكة ، وهكذا نجد أن توزيع الأحمال يجب أن يتبع أسلوبا علميا ومنظما كي يكون الناتج اقتصاديا من جهة وآمنا علميا من الجهة الأخرى مما يزيد من أهمية دراسة منحنيات الأحمال وسوف نتطرق إلي هذا الموضوع في نقاط محددة علي النحو التالي:

٢-١: أحمال الذروة Peak Loads

تأتي أهمية وقت الذروة في دراسة منحني الحمل لخطورتها حيث لا يتوقف الأمر علي تشغيل وإعداد وحدات التوليد في محطات القوي الكهربائية بل يمتد إلي محطات المحولات خصوصا إذا كان الحمل هو التيار المقنن (الذروة) وهو ما يحتاج إلي رفع درجة الاستعداد إلي أقصي وضع لمواجهة أية ظروف محتملة أثناء التشغيل وخصوصا في حالات التوصيل والفصل المعتادة أو من أية مؤثرات خارجية ، وقد تصل هذه الحالة الحرجة إلي الأحمال المنقولة عبر الخطوط الكهربائية بين هذه المحطات المختلفة أو بينها وبين شبكات التوزيع أو داخليا بين شبكات التوزيع الداخلية في المجمعات الضخمة مثل المجمعات التعليمية وهو ما يجب وضعه في الاعتبار مسبقا حتى لا تسوء الأوضاع وحفاظا علي كفاءة التشغيل ككل والتي ترتفع درجة الخطورة كلما كانت معدلات زيادة الحمل أو انخفاضه كبيرة عند الذروة تحديدا مزيدا العبء علي المهندسين وهذه الاحتمالات تعطي الفرصة لوضع هذا الموضوع في إطار محدد في ثلاث نقاط علي النحو المبين فيما يلي :

١- منحنيات الأحمال ذات الذروة الوحيدة Single peak Load Curves

هذه النوعية هي الأكثر شيوعا ولهذا تحتاج إلي المزيد من التحليل ونضعها علي النحو المفصل التالي.

(ا) معامل التحميل Load Factor

نضع أكثر تحديدا معيارين لمعامل التحميل حيث نقسم اليوم إلي فترتين صباحية ومسائية (١٢ س/ فترة) ونأخذ معامل التحميل عن الفترة الصباحية ومعامل التحميل للفترة المسائية (شكل2-١) حيث يظهر مستوي التحميل الصباحي والذي عادة يكون أقل من ذلك المسائي بما يظهر لنا الحاجة الماسة لتعديل المعامل الموحد اليومي للتحميل إلي فترتين منفصلتين كي يصبح في مقدورنا اختيار نوعية الأحمال المطلوب إضافتها كي يرتفع معامل التحميل الكلي خصوصا وأن فترة الذروة كالمعتاد تأتي مساءا مما يلقي الضوء علي الحاجة إلي أحمال صباحية مثل إضاءة الشوارع حتى قبل الفجر (الشروق) وغيرها من أحمال الخدمات .

(ب) النسبة بين طاقتي الذروة والقاعدة (peak/base) energy ratio

جرت العادة علي مقارنة القدرات في أغلب الأحيان ولكننا بصدد المقارنة المباشرة بين الطاقات كمقياس لدرجة كفاءة استغلال الطاقة الممكنة في محطات التوليد وقد تم تقسيم هذه الذروة علي منحنيات الأحمال إلي نوعين من المنحنيات علي النحو اللاحق :

١ - منحني الأحمال وحيد الذروة single peak load curve

ويبين (الشكل رقم٢-٢) منحنى التحميل الزمني ومرادفه منحنى الحمل علي (الشكل رقم ٢-٣) والذي يوضح ما هو المقصود بطاقة القاعدة وكذلك طاقة الذروة وهي ما يمكن أن تظهر في (الشكل ٢-٢) حيث انهما واضحتين أيضا وعندما يظهر المنحنى لفترة أطول من الساعة بل مدة طويلة ولكن القيمة ليست هي الأقصى ولكن المجموعة الكلية للقراءات تمثل الذروة لأن الذروة ليست أقصي قيمة فقط بل تمثل كل القيم الكبرى والتي تقترب من هذه القيمة القصوى وتعتبر الطاقة غير المستغلة من المتاحة ضائعة مثل الطاقة الظاهرية في القدرات المختلفة للتيار لمتردد وتخضع للمعادلة

الطاقة الكلية = الطاقة المستهلكة + الطاقة الضائعة (٢-١)

أما الطاقة الظاهرية الناتجة عن القدرة الظاهرية والمتعامدة مع تلك الفعالة فتتبع الصورة :

الطاقة الكلية المستهلكة= الطاقة الفعالة (م.و. س)+الطاقة الظاهرية (م.ف.أ.ر. س) (٢-٢)

وتمثل الطاقة الظاهرية الفارق بين الطاقة الكلية والفعالة حيث نجد :

الطاقة = القدرة x الزمن (٢-٣)

والقدرة ذاتها تتبع المعادلات المعروفة لها ككميات متجهة وهي :

القدرة الكلية = القدرة الفعالة + القدرة الظاهرية (٢-٤)

٢- منحنيات الأحمال متعددة الذروة multi peak load curves

منحني الأحمال قد تتعدد فيه الذروة فقد تتوالى ليلا أو نهارا أو تبادلا بينهما ويظهر في (الشكل رقم ٢-٤) منحني الحمل ومعه منحني التحميل الزمني الذي لا يمكننا من فهم تواجد تعدد الذروة وبالتالي لابد وأن يكون مصاحبا لمحني التحميل هذا منحني الأحمال اليومي لتحديد عدد القيم القصوى الموجودة ولها شديد العلاقة مع توليد الطاقة المطلوبة بدءا من تجهيز الوحدات التي تعمل لهذه الفترات معا إذا كانت علي نفس المستوي في منحني التحميل الزمني . وذلك الشكل المزدوج لمنحني الأحمال متعدد الذروة مضافا إلي منحني التحميل الزمني ضروريا للدراسة في مثل هذه الحالات ولا يجوز تجاهله والاعتماد علي منحني التحميل الزمني وحده ، وكلما زادت هذه النسبة كلما كان الاستغلال للطاقة أفضل ويكون التشغيل لوحدات التوليد مستمرا لفترات أطول ويقدم الجدول (٢-١) حالة منحني الحمل مزدوج الذروة ويعطي النسبة المطروحة الآن ويبين الجدول النسبة بين طاقتي الذروة الفردية والإجمالية إلي طاقة القاعدة وهو ما يؤكد أن هذه النوعية من الأحمال تعطي استغلالا أحسن عن تلك مفردة الذروة .

جدول رقم ٢ - ١ : النسبة بين الطاقتين للشكل الثاني في الجدول السابق

الذروة	القيمة %	مدتها س	الطاقة	نسبة الطاقة للقاعدة
الذروة الأعلى	٩٨-١٠٠	٢	١٩٨	٣٤,١٣
الذروة الثانية	٩٢-٩٤	٤	٣٧٤	٦٤,٤٧
إجمالي			٥٧٢	٩٨,٦

كما أنه بالرجوع إلي القراءات الفعلية لمنحنيات الأحمال في أحد المواقع تقدم الأحمال الفعالة والظاهرية والكلية لذات الحمل اليومي حيث نجد أن الطاقة الكلية والطاقة الظاهرية قد تم حسابهما كما وردت في الجدول (٢-٢) تأكيدا علي معني الفارق بين الطاقة الظاهرية والطاقة الفعلية أو القدرة

الظاهرية ، خصوصا وأن المطلوب هنا استغلال وتعظيم الاستفادة من الطاقة المتاحة في محطـــات التوليد والموصلة علي الشبكة .

جدول رقم ٢- ٢ : الطاقة الفعالة والظاهرية والكلية المحسوبة

القيمة	الطاقة الفعالة	الطاقة الظاهرية	الطاقة الكلية
المجموع اليومي (م.و.س)	٦٤٣٠,٥	٤٣٩٧,٢	٧٨١١,٥
مربع الطاقة	٤١٣٥٣٣٠	١٩٣٣٥٣٦٧	٦١٠١٩٥٣٢

الفرق بين النتائج المحسوبة للطاقة الكلية والذي ظهر بالقيمة ٢١,٣٣٣ حيث كانت الطاقة الناتجة مـــن القراءات هي ٧٧٩٠,١٦٦٦ وكان هذا الفارق نتيجة عاملين أولهما تغير معامل القدرة / ســـاعة ممـــا يجعل القراءات في مجملها بصورة تقريبية ويبين ذلك المعادلة:

$$\Sigma (P_i)^2 + \Sigma (Q_i)^2 < \Sigma (P_i + Q_i)^2 \qquad (2\text{-}5)$$

بينما يظهر الفارق الثاني في النوع الحسابي وهو الذي يحتوي قسمين من الأخطاء هما :

أ) الخطأ المعتاد في العمليات الحسابية سواء كان ذلك مع الحاسب الإلكتروني أو حاسب الجيب أو أي من الأدوات المستخدمة في هذا المجال فمثلا إذا قمنا بعملية حسابية بسيطة بأن نضرب أو نقسم رقمين فنري ٤ مقسومة علي٣ = ١,٣٣٣ فإذا ضربنا في ٦ كان الناتج ٧,٩٩٨ بينما إذا كنا ضربنا أولا ٤ × ٦ لكان الناتج ٢٤ وعندما تقسم علي ٣ فتعطي ٨ وهذا الأسلوب قد يتكرر ويتزايد الخطأ فتعطـي نتـائج غير صحيحة بالدقة المتوقعة .

ب) التقريب عند التدوين خصوصا والحاسب يستطيع إعطاء عدد كبير من خانات الكسور إلا إننـــا لا نستطيع كتابتها في الجدول أو في الرسم وهكذا ولذلك يستخدم مبدأ التقريب .

أن مجموع الطاقتين الفعالة والظاهرية غير جائز خصوصا وأن كل منهما في اتجاه متعامد مع الآخـر ومن ثم لا نستطيع جمعهما جبريا بل يكون ذلك بالمتجهات كما يوضحه (الشـــكل٢-٥) حيـــث مـــن الضروري إجراء تحويل كي يصبح كل المتجهات ممثلة في واحدا فقط وهذا ما نحصل عليـــه إذا تـــم تحويل القيم إلي اتجاه الطاقة الكلية والتي تأخذ اتجاه القدرة الكلية كما في الشكل (أ) ويتم مـــن خـــلال إسقاط كلا من الطاقتين الفعالة والظاهرية علي اتجاه الطاقة الكلية بالعامود المبين في الشكل (ب) . هكذا تصبح الطاقة الكلية في اتجاهها محددة بالمعادلة :

$$\text{Total Energy} = E_P \cos(\phi) + E_Q \cos(90 - \phi)$$
$$= E_P \cos(\phi) + E_Q \sin(\phi) \qquad (2\text{-}6)$$

وبالتالي نستطيع الحصول علي قيمة نسبة الفقد بالنسبة بين القيمة المسقطة للجزء الظاهري من الطاقـة علي اتجاه الطاقة ذاتها إلي قيمة إسقاط الطاقة الفعالة فعلا في نفس الاتجاه.

٢-٢ : الأحمال الخفيفة Light Loads

تتنوع الأحمال الخفيفة من حيث المعني إلي حالتين تبعا لما يتم من تشغيل في الشبكات الكهربائية بناءا علي المنظومة الهندسية المتبعة في هذا الكتيب ونضعهما بالشكل التالي:

١- الأحمال الدنيا (minimum loads) في منحنيات الأحمال الكلية علي الشبكة الكهربائية إذا ما كـــان يخص الأحمال الكلية علي الشبكة أو أن تكون أحمالا خفيفة علي المعدة المحددة والمعنية بالحمل زمنيا وتقوم علي تغذيتها بالكمية المطلوبة أو أن تكون هذه الأحمال ذات علاقة مباشرة مع الحمل القـــاعدي (base) كما هو موضح في (الشكل رقم ٢-٣) فنجد من الرسم أن القيمة العددية للطاقـــة الكهربائيـــة اليومية قد وردت بالصورة :

$$\text{Energy} = \text{Power} \times \text{Time} = 24\,b + (P_1/2 + P_2/2)T - b\,T + A_{am} + A_{pm}$$
$$= 24\,b + (P_1/2 + P_2/2 - b)T + A_{am} + A_{pm} \qquad (2\text{-}7)$$

من هذه المعادلة نستطيع الحصول علي قيمة القدرة المتوسطة وهي الحمل المتوسط وذلك بالصيغة

$$Average\ Power = (1/24)\{ 24b+(P_1/2+P_2/2- b)T + A_{am} + A_{pm} \} \quad (2-8)$$

وهو ما يضعنا أمام حقيقة واقعية وهي أن الأحمال الخفيفة ذات علاقة وثيقة بالقيمة المتوسطة للحمل لأن الجزء الأول من المعادلة عادة ما يكون أكبر من أي جزء آخر.

٢- الأحمال الخفيفة علي المعدات داخل الشبكة الكهربائية والتي تنحصر فيما يلي :

(أ) الأحمال الخفيفة علي المولدات:

تتعلق الأحمال الخفيفة علي المولدات (alternators) بتلك الأحمال اللحظية والواقعة علي محطات التوليد وهو ما قد لا يظهر كحد أدني علي منحنيات الأحمال الكلية ولكنه يتضح عند دراسة منحني الأحمال للمولد تحت الدراسة فيبين أين الحمل الأدنى وهي الحالة التي تمثل الخطورة عند تشغيل المولدات خصوصا إذا ما كانت قريبة من حالة اللاحمل (no load) ما ينعكس علي سرعة المولد وبالتالي علي استقرار تشغيل الشبكة من حيث قيمة الذبذبة (frequency) داخل الشبكة .

نضع الحالات المختلفة لتحميل المولدات وهو ما قد يحدث في المولدات داخل الورش أو مولدات الطوارئ في المجمعات التعليمية ونحدد أسلوب التنفيذ والتخطيط لذلك مختصرا كما يلي:

١- معدل ارتفاع الحمل Rate of Rise of Load (RRL)

يقدم (الشكل ٢-٦) منحني الحمل الزمني بشكله العام حيث يتم توزيع الوحدات عليه لتغذية الأحمال المطلوبة فقد نري أن المنحنى قد أخذ الشكل المستقيم لتسهيل المهمة من جهة وكنوع من التقريب من الجهة الأخرى ويعطي الخط الرأسي لحالة التحميل الفوري حيث تصبح (dP / dt = infinity)

والخط الأفقي لحالة اللاحمل لمدة زمنية حيث (dP/dt = 0) وهي أخطر الحالات ، ويقع بينهما الحمل الفعلي وكلما أقترب في بداية تشغيل الوحدة من حالة الخط الرأسي كلما كان أفضل حتى لا يقع المولد تحت تأثير السرعة وزيادتها وهو ما يجعل استخدام طرق التحكم في سرعة المولدات أمرا أساسيا حتى لا تزيد الذبذبة عن الشبكة ويحدث الخروج التلقائي للوحدة من التشغيل أو الربط مع الشبكة .

الشكل (ب) يمثل أسلوب الاختيار للوحدات بعد تحديد التشغيل الاقتصادي الأمثل لها تبعا للمعروف في هذا المجال وبعد ذلك يلزم بدء التحميل مع معامل RRL بقيمة مرتفعة ثم بعد ذلك لا يهم إذا ما صغرت أو زادت فنري الوحدة الأولي قد بدأت بهذا الأسلوب ولذلك فإنها تعبر عن الاختيار الصحيح علي عكس الوحدة الثانية حيث التحميل يبدأ بمعامل صغير ولفترة طويلة فيكون الاختيار هنا خطأ .

٢- فترة بدء تشغيل الوحدات Starting Time

هذا الموضوع يصبح ذات أهمية بالنسبة للمحطات البخارية تحديدا ففيها يرتفع زمن بدء تشغيل الوحدة لأنه يلزم تسخين المازوت كوقود ثم الضخ ثم عملية الاحتراق وما يليها من تبخير للمياه ثم تحميص البخار ثم تجهيز التشغيل – التوربين – والوصول إلي السرعة المحددة ثم إدخال الوحدة علي الشبكة وكل هذه الخطوات تستغرق الكثير من الوقت والذي يصل إلي عدد من الساعات وهو ما يستدعي الاعتماد علي الأسلوب الوارد في النقطة التالية وعدم الاستغناء عن تشغيلها .

٣- توزيع الأحمال علي التوازي Parallel Distribution of Loads

لتفادي عملية التحميل الخفيف القريب من اللاحمل أو التشغيل بدون حمل عند بداية دخول الوحدة إلي الخدمة تتجه العملية التنفيذية إلي إدخال الوحدات قبل الاحتياج لها بحيث تدخل عند وصول الوحدة العاملة إلي حدود الحمل الأقصى لها فتتقاسمان الحمل وتكون البداية علي حمل وبذلك نتفادى أخطار البدء سابقة الذكر .

وعلي الجانب الآخر نضيف هنا ضرورة الابتعاد عن حالات التحميل الزائد (over loading) إلا عند الظروف القاسية وإذا ما كان ممكنا أسلوبا آخر فيكون الأفضل لسببين هما : البعد عن حالة التشغيل الحرج وعدم إجهاد المحول فيقصر معه عمره في الخدمة مرورا مع الزمن .

(ب) الأحمال الخفيفة علي المحولات :
حالات الحمل الخفيف واللاحمل (no-load) تثير المشكلات الهندسية في مستوي أداء (performance) الشبكة نتيجة ارتفاع التيارات المغناطيسية (magnetic currents) والإعصارية وما قد يصحب ذلك من أضرار ، خصوصا وأنها تحتوي علي الموجات التوافقية (harmonic waves) والتي تظهر نتيجة لعدم تواجد الصفات الخطية (linear characteristics) في هذه التيارات والفيض المغناطيسي (flux) المسبب لها وهي الممثلة بالفرع المتوسط (shunt branch) (بالشكل ٢-٧) حيث تزيد قيمة التيارات فيه عند اللاحمل وكذلك الأحمال الخفيفة . في هذه الحالة يكون تأثير التواجد غير الخطي أكثر بكثير من التأثير الخطي الناتج عن الأحمال ويظهر الفقد أيضا مما يجعل الكفاءة (efficiency) قليلة كهربيا فتحتاج بذلك إلي تواجد الأحمال كي تندثر قيمة التيارات الإعصارية بالنسبة إلي التيار الكلي فيقل تأثيره وتتحول إلي حالات التحميل المعتادة .

(ج) الأحمال الخفيفة علي الخطوط :
تزداد هذه الحالة خطورة إذا كانت هذه الخطوط الكهربائية طويلة المسافة وهو ما يزيد من قيمة القدرة السعوية (capacitive) بدلا من الحثية (inductive) المعتادة عند الأحمال المتوسطة والعالية فترفع قيمة الجهد علي أطراف النهاية لها إلي حدود فوق مستوي العزل الطبيعي (insulation level) للخط وبالتالي قد تؤدي إلي انهيار (breakdown) العوازل ومن ثم توقف الخط عن العمل ونقل القدرات الكهربائية المطلوبة.
يمكن من خلال الدائرة المكافئة T للخط الكهربائي عند زيادة الطول وظهور السعة التي تسبب ظاهرة فرانتي (Ferranti Effect) حيث يرتفع الجهد V_r عند أطراف الاستقبال (النهاية) والجهد عند البداية (V_s) مما يسبب انهيارا للعزل في منطقة ارتفاع الجهد عن مستوي العزل الفعلي وهو ما يبين من المتجهات لهذه الدائرة حيث نجد أن جهد الاستقبال (receiving end) يزيد عن الجهد عند أطراف الإرسال (sending end) فنري الجهد في حالة الأحمال الخفيفة أكثر عن جهد الإرسال . وجدير بالذكر أنه يمكن الاستفادة من حالة الحمل الخفيف علي أي من هذه المعدات وذلك عن طريق رفع مستوي التحميل بإضافة أحمال لتخزين المياه في محطات رفع المياه علي سبيل المثال وإعادة الانتفاع بها وقت الذروة لتوليد طاقة هيدروليكية بسيطة والتي تعتبر في هذه الحالة أنها مخزونة .

٢-٣ : معامل القدرة Power Factor

نتعامل مع معامل القدرة في هذا الباب بخلاف ما سبق من حيث الهدف والمزج بين المعاني وتحديد موضع التلاقي بين الجهات المختلفة حيث يعتمد منحني الأحمال في جوهره علي معامل القدرة فنجد تأثيره كبير عند الذروة بينما يتضاءل ذلك مع الأحمال الخفيفة ولذلك يجب الاهتمام به ودراسته وتحديد مستوي التأثير علي الأحمال وبهذا نسرد فيما يلي الحدود الأساسية له في نقاط محددة .

١- أهمية معامل القدرة Importance

يلعب معامل القدرة دورا هاما في التخلص من الفاقد واستعادة الطاقة الضائعة إلي الشبكة مرة أخري كي تستغل في مكان آخر ومن الضروري التعرض لأهم النقاط الجوهرية ونضعها إيجازا كما يلي :

(أ) العيوب Disadvantages

العيوب العامة الأساسية تظهر في ثلاث نقاط هي:
١- رفع تكلفة إنتاج الطاقة.
٢- خفض معدل التحكم في الجهد.
٣- زيادة الفقد الكهربائي.

بينما تتنوع العيوب في إطارها بين طرفي العملية الكهربائية أي بين المستهلك وشركات الكهرباء ، أما عن العيوب الناجمة علي أكتاف المستهلك فنراها:
١- تحميل أعباء مالية (غرامة كبار المشتركين) .

٢- استهلاك وتقصير عمر الأجهزة الدوارة .
٣- الإضرار بمستوي أداء الأجهزة .
وأما عن العيوب التي تخص شركات الكهرباء فتدخل في ثلاث مبادئ هي:
١- تحمل نفقات زائدة لتشغيل المحطات .
٢- تقليل القدرة علي سد احتياجات المستهلكين.
٣- زيادة أعباء التطوير والتوسع والتجديد بالشبكة.
ويرجع انخفاض معامل القدرة إلي عدد من الأسباب تنحصر أيضا بين المستهلك وشركات الكهرباء فالمستهلك يسبب انخفاض هذا المعامل بما يلي:
١- تشغيل محركات علي أحمال خفيفة.
٢- استخدام مصابيح الإنارة التي تعتمد علي تفريغ الغازات.
٣- استهانة بعض من صغار المشتركين لعدم وجود شرط جزائي بالغرامة علي وتيرة المتبع مع كبار المشتركين.
أما شركات الكهرباء فتتسبب في انخفاض المعامل لسببين هما:
١- عدم تقنين الغرامة لصغار المشتركين إذا انخفض معامل القدرة طرفهم.
٢- وجود تيارات توافقية في الشبكة.

(ب) أسلوب التحسين Improvement Concept

يتحقق هذا من خلال ثلاث محاور هي :

المحور الأول : تجنب العوامل المسببة لخفض معامل القدرة بالشبكة

* الابتعاد عن التوسع في استخدام المصابيح الغازية في الإضاءة .
* عدم السماح بالأحمال الخفيفة علي المحولات من أجل تقليل التيارات المغناطيسية وكذلك الماكينات الكهربائية مثل المضخات وضواغط الهواء فيلزم نقل الأحمال الخفيفة وتجميعها علي أحد المعدات كلما أمكن .
* عدم الاستعانة بالمحركات التأثيرية .

المحور الثاني : الاستعانة بمعدات تساهم في رفع قيمة معامل القدرة

* تركيب مكثفات علي الشبكة ومنها (مكثفات ثابتة – مكثفات تزامنية – مكثفات تقوية – مقدم الزاوية) ويمكن توصيلها بطريقة فردية لكل معدة أو جهاز كما يمكن تركيبها بصورة جماعية لكل المعدات في الموقع الواحد أو يمكن الاستعانة بالمكثفات بأسلوب مركزي .
* استخدام الآلات المتزامنة في مجال الإثارة .
* الاعتماد علي معدات وأجهزة عالية معامل القدرة مثل المحركات عالية السرعة وكذلك تلك المعدلة بمعامل القدرة عن طريق توصيل مكثفات داخلية مع ملفات المحرك بأسلوب التعويض التوازي سواء كانت الملفات بتوصيلة نجمة أو دلتا (الشكل ٢-٨) بينما علي الجانب الآخر نستطيع توصيل المكثفات في شكل دلتا ويتم تركيبها علي أطراف ملفات المحرك كما جاء في (الشكل ٢-٩) .

٢- تأثير معامل القدرة علي منحنيات الأحمال P. F. Effect on Load Curves

تتأثر منحنيات الأحمال للقدرات الكلية بدرجة كبيرة بمعامل القدرة مما يجب أن نضعه واضحا في صورة المعادلة الرياضية الممثلة لمنحني الأحمال عند الحصول علي الطاقة المستغلة عند الحصول علي الطاقة المستغلة علي النحو :

$$\Sigma \; V_i I_i = V \;\; \Sigma \; I_i \qquad (2\text{-}9)$$

حيث I تأخذ الأرقام من ١ وحتى ٢٤ بعدد الساعات اليومية ونجد أن الجهد متغيرا مع تغير الأحمـــال إلا إننا نفترض ثبوته بقيمة واحدة وبذلك تظهر قيمة القدرة الفعالة بوحدات م. و. بالصيغة

$$MW=V\{I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 + \ldots + I_{24} \cos \varphi_{24}\} \quad (2\text{-}10)$$

بينما تعبر المعادلة التالية عن القدرة الظاهرية بوحدات م. ف. أ. ر. بالشكل :

$$MVAR = V\{I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 + \ldots + I_{24} \sin \varphi_{24}\} \quad (2\text{-}11)$$

ومن ثم نحصل علي قيمة معامل القدرة المتوسط اليومي في الصورة :

$$\cos \varphi = MW/ MVA= 1 / \sqrt{\{1 + (MVAR/ MW)^2\}} \quad (2\text{-}12)$$

وهو ما يحدد لنا أن معامل القدرة ذو تأثير واضح علي مدي الاستفادة من القدرة المتاحة في محطـــات توليد الطاقة وهو ما يوضحه (الشكل رقم ٢-١٠) حيث يبين من منحني التحميل الزمني أن معامـــل القدرة يزيد من القدرة المتاحة والمطلوبة ويستهلكها كلما انخفض هذا المعامل وقد جـــاءت الأشـــكال المتعددة مع ثبات قيمة الطاقة الفعالة لحظيا في كل المنحنيات ، بالإضافة إلي أن القدرة الكلية تعتمـــد علي معامل القدرة بشكل مباشر كما جاء في (الشكل رقم ٢-١١) حيث يرتفع مقـــدار القـــدرة الكليـــة المطلوبة لذات الحمل مع انخفاض معامل القدرة بشكل متزايد وغير خطي وجدير بالذكر هنا أن القدرة الفعالة ثابتة للشكلين كما أن التعامل مع معامل القدرة المتوسط كان الأساس فـــي الحســـابات والتـــي رسمت في الشكلين .

هذا المعامل يمثل نوعا جوهريا من التحسين والتطوير في شكل منحنيات الأحمال خصوصا وأنه يتغير لحظيا بطبيعة الحال نظرا للتغير المستمر في نوعية الأحمال التـــي تـــدخل أو تخـــرج مـــن الشـــبكة الكهربائية فتزيد أو تنخفض قيمته وهو ما يحدث فعلا ولذلك فكل ما تم التعامل معه من شرح في هذا الجزء الخاص بمعامل القدرة كان مؤسسا علي معامل القدرة المتوسط وهو بالتأكيد يختلف عن معامل القدرة اللحظي ، كما تزيد أهميته إذا ما انخفض عند الذروة أوعند الأحمال الخفيفة أيضا .

المحور الثالث : تصميم الرسم بمحنيات الأحمال Single Line Design with Curves

يعتمد التصميم الجيد علي صفات منحنيات الأحمال وهذا لا يمكننا التكهن به علي الدوام فقـــد تتبـــدل الأحوال أحيانا أو تحدث تغييرات جوهرية في الشبكة الكهربية ولذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التصميم كل الاحتمالات وما يجد أثناء التشغيل يقع علي عاتق مهندسي التشغيل سواء في المحطـــة أو في مراكز التحكم المختصة ولهذا يلزم التعامل مع منحنيات الأحمال كواحد من المعاملات الأساسية في عملية تصميم وصلات الربط الكهربائية بين المعدات وملحقاتها داخل المحطات الكهربائيـــة عمومـــا كمحطات التوزيع الكهربائي في المدارس الداخلية أو المجمعات التعليمية وصالات الالعاب المدرســـية وهي ما توضع في شكل رسم كهربي متكامل الأطراف من حيث دخول الطاقة أو خروجها وهو مـــا يعرف باسم الرسم الفردي للمحطة وتصميمه يدخل في عمليات تحسين المعاملات الخاصة بالتحميـــل ومنحنيات الأحمال وهو ما سبق توضيحه .

٤-٩٢ : معامل القدرة في المحركات التأثيرية

تعتبر المحركات التأثيرية من أهم مصادر القدرة الردية ولذا تحتاج إلي دراسات مدققة لأنهـــا إمـــا أن تظهرعلي صورة حمل كبير واحد أو مجموعة أحمال مركزة كلها علي قضيب توزيع واحد أو منتشرة في الموقع ككل ، ويمكن تحسين معامل القدرة المنخفض بسبب تلك المحركات إما بطريقة التحســـين المحلي وإما بطريقة التوصيل التجميعي . إن الذي يحدد الطريقة الأفضل هو نتائج الدراسات التفصيلية للشبكة من حيث طبيعة الأحمال ودورة الحمل وشكل الشبكة وغير ذلك من العوامل الفنيةوالاقتصادية . ونحن ننصح بعدم اللجوء إلي طريقة بعينها إلا بعد إجراء تلك الدراسات بصورة دقيقة وذلك تجنبا لأي ظواهر ضارة قد تنشأ نتيجة لتركيب المكثفات في موضع معين دون إجراء الدراسات الكافية وتتميـــز معظم محركات قفص السنجاب التأثيرية squirrel-cage induction motors بعدة خصائص مشتركة :

جدول ٢-٣ القدرة الظاهرية في المحركات التأثيرية عالية السرعة

سرعة محرك (لفة / ق)	٣٠٠٠			١٥٠٠			١٠٠٠		
سرعة محرك (لفة / ق)	نسبة التحميل (%)			نسبة التحميل (%)			نسبة التحميل (%)		
قدرة محرك (حصان)	١٠٠	٧٥	٥٠	١٠٠	٧٥	٥٠	١٠٠	٧٥	٥٠
١	٠,٨	٠,٧	٠,٦	٠,٩	٠,٨	٠,٧	١.١	١.١	٠,٨
٢	١,٢	١.١	١.١	١,٥	١,٤	١,٤	١,٥	١,٣	١,٣
٣	١,٧	١,٦	١,٥	٢,١	١,٨	١,٧	٢	٢	٢
٥	٢,٦	٢,٣	٢,١	٣,٢	٢,٨	٢,٥	٣,٢	٢,٩	٢,٧
٧	٣.٣	٢,٨	٢,٥	٤,٣	٣,٧	٣,٦	٤,٣	٣,٩	٣,٦
١٠	٤.٤	٣,٩	٣.٣	٥,٧	٤,٩	٤,٥	٥,٦	٥	٤,٥
١٥	٦,٧	٦	٥,٢	٨,٤	٧	٦	٨,٢	٦,٩	٦,٣
٢٠	٩	٧	٦	١٠	٩	٧	١٠	٨.٨	٧,٨
٣٠	١٣	١٠	٩	١٤	١٢	١١	١٥	١٣	١١
٤٠	١٦	١٤	١٢	١٧	١٦	١٤	١٩	١٦	١٥
٥٠	٢٠	١٧	١٤	٢١	٢٠	١٧	٢٣	١٩	١٧
٦٠	٢٠	١٧	١٦	٢٤	٢٠	١٧	٢٤	٢١	١٩
٧٠	٢١	١٧	١٦	٢٦	٢٢	١٩	٢٧	٢٥	٢٢
٨٠	٢٤	٢٠	١٨	٣٠	٢٤	٢١	٣١	٢٩	٢٥
٩٠	٢٧	٢٢	٢١	٣٣	٣٠	٢٦	٣٧	٣٣	٢٨
١٠٠	٣٠	٢٥	٢٣	٣٧	٣٣	٢٩	٤٤	٣٨	٣٣

١ - تتراوح القدرة الردية من ٠,٥ إلي ١,٠ كيلو فار / ك. و. من قدرة المحرك الفعالة ويعتمد هـذا المقدار علي سرعة المحرك ومقنن قدرته (ك. و.) ونسبة تحميل المحرك إلي مقنن الحمل الكامل .

٢ - يتراوح معامل القدرة بين ٨٠ و ٩٠% تبعا لسرعة المحـرك فكلمـا زادت السـرعة المتزامنـة للمحرك زاد معامل قدرته لنفس مقنن قدرة الحمل الكامل (الشكل٢-١٢) .

٣ - للمحركات التي لها نفس السرعة فإن معامل قدرتها يميل إلي الارتفاع مع ارتفاع مقنـن قـدرة الحمل الكامل لها (الشكل٢-١٣) .

٤ - يميل معامل القدرة إلي الانخفاض بانخفاض نسبة تحميل المحرك ويرتفع بارتفاعها حتى يصـل إلي أقصي قيمة له عند التحميل الكامل (الشكل ٢-١٤) ويعطي الجدول(٢-٣) قيما نمطيـة لمتوسـط القدرة الردية للمحركات ذات السرعة العالية (٣٠٠٠ - ١٠٠٠ لفة / ق) وفي الجدول ٢-٤ لتلك القيم للمحركات ذات السريعات المنخفضة (٧٥ -٣٧٥ لفة / ق).

٥ - رغم أن معامل قدرة المحرك يتغير علي مدي واسع بتغير نسبة التحميل إلا إن القـدرة الرديـة تتصرف خلاف ذلك حيث نلاحظ أنها تتغير في نطاق ضيق علي المدى الممتد من اللا حمل وحتـى التحميل الكامل ويمكن ملاحظة ذلك من الجدول (٢-٣) والخاص بالمحركات التأثيرية عالية السرعة .

جدول ٢-٤ : القدرة الردية في المحركات التأثيرية منخفضة السرعة

سرعة	٧٥٠ (لفة / ق)			٦٠٠ (لفة / ق)			٥٠٠ (لفة / ق)		
قرة (حصان)	نسبة التحميل (%)			نسبة التحميل (%)			نسبة التحميل (%)		
نسبة التحميل	١٠٠	٧٥	٥٠	١٠٠	٧٥	٥٠	١٠٠	٧٥	٥٠
١	١,٢	١.١	١	–	–	–	١,٥	١,٥	١,٤
٢	٢,١	٢	١,٩	–	–	–	٢,٨	٢,٨	٢,٥
٣	٢,٨	٢,٥	٢,٤	٣,٤	٣	٢,٨	٣,٩	٣,٧	٣,٥
٥	٤.٤	٤,٢	٣,٨	٥	٤,٧	٤.٤	٥,٦	٥,٣	٤,٩
٧	٥,٦	٥.٥	٥,١	٦,٤	٥,٨	٥,٦	٧,١	٦,٩	٦,٥
١٠	٧,٤	٧	٦,٧	٨.٢	٧,١	٦,٤	٨,٦	٧,٥	٦.٦
١٥	١٠	٩,٧	٨,٧	١١	١٠	٩	١٣	١١	١٠
٢٠	١٢,٤	١١,٩	١٠,٨	١٥	١٣	١١	١٦	١٤	١٣
٣٠	١٨	١٧	١٥	٢٠	١٨	١٦	٢٢	٢١	١٨
٤٠	٢١	٢٠	١٨	٢٦	٢٣	٢٠	٢٧	٢٤	٢٠
٥٠	٢٩	٢٧	٢٢	٣١	٢٧	٢٤	٣٢	٢٩	٢٥
٦٠	٣٠	٢٨	٢٥	٣٣	٢٩	٢٥	٤٠	٣٥	٣٠
٧٠	٣٣	٢٨	٢٥	٣٩	٣٥	٢٩	٤٤	٣٧	٣٣
٨٠	٣٧	٣٢	٢٦	٤١	٣٦	٣١	٥٠	٤٣	٣٧
٩٠	٤٠	٣٤	٢٩	٤٦	٤٠	٣٥	٥١	٤٤	٣٨
١٠٠	٤٤	٣٨	٣٢	٥١	٤٤	٣٨	٥٧	٤٩	٤٢

وللمحركـــات ذات السرعة الأقل كما في الجـــــدول رقم (٢-٤) بعضا منها أيضا. كما يبين الشكل (٢-١٥) الخواص النمطية الكاملة لمحرك حتي متوسط المقنن والسرعة ولذلك نتعامل مــــع تحســين معامل القدرة لهذه المحركات بشكل مكثف عن طريق التحســين الفــردي Individual Improvement حيث يقصد به استخدام طريقة التوصيل المحلي المذكورة حيث يتم توصيل المكثــف علـــي أطــراف المحرك مباشرة ويتم توصيل مكثفات الأطوار الثلاثة علي شكل دلتا كما في (الشكل ٢-١٦) ويستعمل في حالة استخدام التحسين الفردي مكثف ذو مقنن ثابت من القدرة الردية حيث يكــون هــذا المكثــف مناسبا في جميع حالات تحميل المحرك وهذا يرجع إلى ما ذكرناه في البند السابق من إن قيمه القـــدرة الردية للمحرك لا تتغير علي مدي كبير أثناء تغير حمل المحرك من اللاحمل إلى التحميل الكامل .
تعطي عملية التوصيل الفردي علي المحرك افضل النتائج من حيث تحسين معامل القدرة حيث يعمـــل كل من المحرك والمكثف كوحدة واحدة بحيث يتم توصيلها علي منبع القدرة أو فصلها عنه معا يمكــن بهذه الطريقة تزويد الشبكة بالقدرة الرديه اللازمة عند طلبها من الأحمال فقط ، علاوة علي ذلك فـــان توصيل المكثف علي أطراف المحرك يحقق تحسين معامل القدرة لجميع أجزاء الشبكة ابتداء من موقع المكثف وحتى مصدر التغذية ونلاحظ دائما إن تأثير مصدر القدرة الرديه يبدأ من موقع هذا المصـــدر ويتجه نحو مصدر التغذية خلال الشبكة وليس نحو الأحمال .
إن توصيل المكثفات بطريقة فردية على كل محرك على حدة ليس دائما هو الأفضل في تحسين معامل القدرة ويرجع ذلك إلى عوامل هندسية واقتصادية نوجز أهمها:
١) تحتوي معظم الشبكات الصناعية الآن علي مصادر للموجات التوافقية للتيار بســبب اســتخدامها للعديد من الأجهزة الإلكترونية اللازمة في عمليات التحكم والتقويم وغيرها وعلي ذلــك فــإن وجــود تيارات الموجات التوافقية harmonic currents في الشبكة مع وجود عدد كبير نســبيا مــن المكثفــات

المتناثرة علي الشبكة (تبعا لموقع المحرك المطلوب تحسين معامل القدرة له) يزيد من احتمال تفـــاعل تلك المكثفات مع مـــصادر تيار الموجات التوافقية وظهور حالات شاذة من الأداء كالرنين resonance.
٢) ربما تكون نتائج الدراسة الاقتصادية لعملية تحسين معامل القدرة ليست في جانب التحسين الفردي للمحركات بسبب الاختلاف الكبير في أنواع ومقننات تلك المحركات و ارتفاع أسعار وحدات المكثفات ذات المقننات الكبيرة .

٣) أن التوصل الفردي يؤدي إلي أن يعمل المحرك مع المكثف معا كوحدة واحدة وهذا قـــد يـــؤدي بدوره إلي تعريض تلك الوحدة (المكثف مع المحرك) إلي تجاوزات خطيرة في الجهد خلال لحظـــات معينة من التشغيل مما قد يدفع إلي تدمير المحرك والمكثف معا ويحدث هذا عندما يكـــون المحـــرك والمكثف موصلين معا علي التوازي أثناء دوران المحرك وهما مفصـــولان عـــن مصـــدر التغذيـــة كالحالات الآتية :

* فصل التغذية عن المحرك .
* تحويل بادئ الحركة من نجمة إلي دلتا .
* استعمال محول ذاتي لبدء الحركة .
* عمل قاطع الدائرة أو انصهار المصهر .

يجب اتباع الإرشادات الآتية عند دراسة إمكانية استخدام التوصيل الفردي للمكثف :

١) إن التحسين الفردي يكون مناسبا في حالات التشغيل المستمر للمحرك علي حمل ثابت ، وذلك لكل محرك علي حدة .

٢) يفضل استعمال التحسين الفردي للمحرك الذي يعمل في فترات الذروة peak load علـــي الشـــبكة والذي يعمل لفترات طويلة حتى يكون عامل الاستفادة من المكثف مرتفعا .

٣) مراعاة ألا يتجاوز الحجم الصحيح للمكثف المستعمل في التحسين الفردي مقنن القدرة الرديـــة لـــه يؤخذ ٨٥% علي الأكثر من قيمة الكيلو فولت أمبير اللاحملي no–load للمحرك وذلك لمحركات قفص السنجاب ولا يتعدى ٩٠% في حالة محركات الحلقات المنزلقة slip - ring فاختيار مكثف أكبر مـــن مقنن القدرة الكلية اللاحملي للمحرك يتسبب في رفع جهد المحرك في الفترات العابرة المذكورة سابقا .
توصي المواصفات مع الخبرات العالمية اختيار المكثف بإحدى الطريقتين الآتيتين :

* إلا يتعدى مقنن الكيلو فار للمكثف ٩٠% من مقنن الكيلو فولت أمبير اللا حملي للمحرك في جميـــع الحالات.

* إلا يتعدى معامل القدرة للمحرك في حالة الحمل الكامل ٩٨% متأخر بعد التحسين وذلك كأقصى حد مسموح به.

يعطي الجدول (٢–٥) القيم الموصي بها لمقننات المكثفات المستعملة في التحسين الفردي للمحركـــات بحيث ترفع معامل القدرة إلي ٩٥% عند جميع حالات التحميل ويمكن استخدام هذا الجدول بثقة تامـــة للمحركات العادية وحتى قدرة١٠٠ حصان وننصح عند الشك بالتأكيد من قيمة الكيلو فولت أمبير الـــلا حملي للمحرك وخصوصا للمحركات ذات التصميم الخاص كالمحركات المحكمـــة hermetic motors التي تحتاج إلي مكثفات ذات مقننات أكبر .

٤) لا يفضل اللجوء إلي التحسين الفردي في حالات المحركات التي تعمـــل علـــي أحمـــال متقطعـــة (كمحركات الأوناش مثلا) ، ولا في حالات المحركات التي تتعرض لعمليات عكس الحركـــة . وإذا دعت الضرورة إلي استخدام التحسين الفردي في مثل تلك الحالات فيجب اختيار المكثـــف بحيـــث لا يتجاوز مقنن القدرة الردية لهذا المكثف مقنن القدرة اللازمة لتحسين معامل قدرة المحرك علي أســـاس أن هذا المحرك يعمل بصورة مستمرة ومن المعروف أن مقنن القدرة المستمرة للمحرك أقل بكثير مـــن مقنن قدرته المنقطعة ويجب الرجوع إلي مصنع المحركات في هذا الشأن .

٥) يجب توخي الحذر مع التحسين الفردي لمحركات ذات فرملة تعمل بفقد الجهد ويلزم استخدام نظام تحكم وفصل خاص يقوم بعزل المحرك و الفرملة تماما عن المكثف في وضع السكون.

٦) لا يفضل استخدام التحسين الفردي للمحركات ذات البادئ من نوع الحالة الجـــامدة solid - state ويمكن القول بصفة عامة أن وجود المكثف علي أطراف المحرك مباشرة يعـــرض جميـــع الأجـــهزة والدوائر الإلكترونية في دوائره التشغيل والتحكم للمحرك إلي تجاوزات في الجهد فوق احتمـــال تلـــك الأجهزة و الإلكترونات مما يعرضها للتلف السريع.

٧) لا يفضل استخدام التحسين الفردي للمحركات متعددة السرعة ويجب عند الضرورة مراعاة عـــدم توصيل المكثف مباشرة علي ملف السرعة المنخفضة بل يجب استخدام لمسات يتـــم ترتيبـــها بحيـــث يستخدم مكثف واحد لكل ملف سرعة.

٨) تجنب استخدام التحسين الفردي للمحركات التي تدير أحمالا ميكانيكية ذات عزم قصور ميكـــانيكي مرتفع مما قد تتسبب مثل تلك الأحمال في إدارة المحرك بعد فصل التخزين مما يعرضه لتجـــاوزات خطيرة في الجهد مع وجود المكثف متصلا علي أطرافه.

٩) نظرا لاحتمال حدوث رنين بين المكثفات وبين مكونات الشبكة الأخرى بســـبب وجـــود تيـــارات الموجات التوافقية فمن الضروري عمل دراسة تحليلية وهندسية دقيقة لمعرفة احتمال التنـــاغم tuning بين المكثفات الموزعة علي الشبكة وبين مصادر تيارات الموجات التوافقية التي تكون غالبـــا أجـــهزة إلكترونية فيجب عمل الترتيبات اللازمة لمنعه.

١٠) تتميز طريقة التحسين الفردي بكفاءة اعلي في حالات المحركات ذات السرعة البطيئة وكلما قلت سرعة المحرك كلما زادت فعالية المكثف في تحسين معامل القدرة .

لتحديد موقع مكثفات التحسين الفردي نحتاج إلي عددا من الضوابط نضعها فيما يلي :

١- يوضع المكثف بين المحرك وبين جهاز الحماية من تجاوز الحمل كما هو موضـــح مـــن الشـــكل (٢ – ١٧) ويؤدى هذا الوضع إلى:

جدول(٢-٥) مقننات مكثفات التحسين الفردي للمحركات

القدرة	مقنن المكثف لمحركات بسرعة مختلفة (لفة/ق)					
(H.P)	٥٠٠	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠	١٥٠٠	٣٠٠٠
2.5	١,٥	١,٥	١,٥	١	١	٠,٥
5	٣	٣	٢,٥	١,٥	١,٥	١
7.5	٤	٤	٣	٢,٥	٢	١,٥
10	٥	٥٦	٤	٣	٣	٢,٥
12.5	٦	٦	٥	٤	٣	٣
15	٦	٨	٦	٤	٤	٣
17.5	٨	٨	٦	٥	٤	٤
20	١٠	٨	٦	٦	٥	٥
٢٢,٥	١٠	١٠	٨	٦	٥	٥
٢٥	١٢	١٠	٨	٦	٦	٦
٢٧,٥	١٢	١٢	١٠	٨	٦	٦
٣٠	١٤	١٢	١٠	٨	٨	٦
٣٢,٥	١٤	١٤	١٠	٨	٨	٦
٢٥	١٤	١٤	١٢	١٠	٨	٨
٣٧,٥	١٦	١٤	١٢	١٠	٨	٨
٤٠	١٦	١٤	١٤	١٠	١٠	٨
٤٢,٥	١٦	١٦	١٤	١٢	١٠	٨
٤٥	١٨	١٦	١٤	١٢	١٠	٨
٤٧,٥	١٨	١٨	١٤	١٢	١٠	١٠
٥٠	١٨	١٨	١٦	١٤	١٢	١٠
٥٥	٢٠	٢٠	١٦	١٤	١٢	١٠
٦٠	٢٢	٢٠	١٨	١٤	١٢	١٢
85	٢٨	٢٤	٢٢	٢٠	١٨	14
90	٣٠	٢٦	٢٤	٢٢	٢٠	16
95	٣٠	٢٨	٢٤	٢٤	٢٠	16
100	٣٢	٢٨	٢٦	٢٤	٢٢	18
105	٣٢	٣٠	٢٦	٢٤	٢٢	18
110	٣٤	٣٠	٢٨	٢٦	٢٤	18
115	٣٤	٣٢	٢٨	٢٦	٢٤	20
120	٣٦	٣٢	٢٨	٢٦	٢٦	20
125	٣٦	٣٤	٣٠	٢٨	٢٦	22
130	٣٨	٣٤	٣٠	٢٨	٢٦	22
135	٣٨	٣٤	٣٠	٢٨	٢٨	24
140	٤٠	٣٦	٣٢	٣٠	٢٨	24
145	٤٠	٣٦	٣٢	٣٠	٢٨	26
150	٤٢	٣٦	٣٢	٣٠	٢٨	26
155	٤٤	٣٨	٣٤	٣٠	٣٠	26
160	٤٦	٣٨	٣٤	٣٢	٣٠	٢٨
165	٤٨	٤٠	٣٦	٣٢	٣٠	٢٨
170	٤٨	٤٠	٣٦	٣٢	٣٢	٣٠
175	٥٠	٤٢	٣٨	٣٤	٣٢	٣٠
180	٥٠	٤٤	٣٨	٣٤	٣٤	٣٠
185	٥٢	٤٤	٣٨	٣٤	٣٤	٣٠
190	٥٢	٤٦	٤٠	٣٦	٣٤	٣٢
195	٥٤	٤٦	٤٢	٣٦	٣٤	٣٢
200	٥٤	٤٦	٤٤	٣٦	٣٦	٣٢
205	٥٦	٤٨	٤٤	٣٨	٣٦	٣٢
210	٥٨	٤٨	٤٦	٣٨	٣٦	٣٤

* يعتمد مقنن المكثف علي تيار مغنطة المحرك
* ينخفض التيار المار في بادئ الحركة وكذلك التيار المار في جهاز الحماية من تجاوز الحمل.
* يجب إعادة ضبط جهاز الحماية من تجاوز الحمل.
٢- يوضع المكثف بين جهاز الحماية من تجاوز الحمل وبين بادئ الحركة كما يوضح الشكل (٢-١٨).
* يعتمد حجم المكثف علي تيار مغنطة الحركة
* يخفض تيار بادئ الحركة
* لا يتغير تيار جهاز حماية تجاوز الحمل ولا يحتاج الجهاز بذلك إلي عملية إعادة الضبط
٣- يوضع المكثف قبل بادئ الحركة من ناحية مصدر التغذية كما في الشكل (٢-١٩) مما يؤدي إلي:
* لا يعتمد حجم المكثف علي تيار مغنطة المحرك
* لا يتغير تيار بادئ الحركة
* لا يتغير تيار جهاز تجاوز الحمل ولا يحتاج الجهاز بذلك إلي إعادة الضبط .

هناك عددا من العيوب الخاصة بهذا السلوك من حيث التركيب المنفرد للمكثفات لكل محرك علي حدة نتيجة عدة مصاعب أو ظواهر غير مرغوب فيها عند استخدام طريقة التحسين الفردي للمحركات التأثيرية بالرغم من تواجد أكثر من موقع لتركيب مكثف التحسين لمعامل القدرة حيث من الممكن توصيل المكثف علي جانب الحمل بين المحرك وبادئ الحركة فيتم توصيل وفصل المكثف كوحدة واحدة ومن الوضع الأول للتحسين
الفردي حيث يتم تركيب المكثف بين المحرك و جهاز الحماية (الشكل ٢-١٧)إلي الوضع الثاني كما في الشكل رقم ٢-١٨ فنجد التوصيل للمكثف بين جهاز الحماية والبادئ أما في الوضع الثالث كما في الشكل(٢-١٩) نري تركيب المكثف بين جهاز الحماية والبادئ ، ومن أهم العيوب التي تؤثر في أداء الشبكة تأتي ثلاث محاور هي :

١- التيارات التوافقية

بالرغم من أن توصيل المكثف مع المحرك في عملية التحسين الفردي له ميزات عديدة إلا أن وجود عدة محركات حثيه متصلة علي قضبان توزيع واحد يزيد من احتمال حدوث رنين للتيار بين المكثفات علي اختلاف مقنناتها وبين محاثات أجهزة الشبكة المختلفة مع زيادة صعوبة تصميم المرشحات filters اللازمة لعدم ظهور تلك الموجات التوافقية علي الشبكة.
وتوصي الخبرات والمواصفات العالمية لتجنب طريقة التحسين الفردي في حالة وجود عدد كبير من المحركات مع وجود مصادر للتيارات التوافقية حيث تنص المواصفات القياسية علي:
* يوصي باستخدام مكثفات توصل مباشرة علي قضيب التوزيع بدلا من توصيل كل مكثف علي محرك بصورة فردية وذلك في حالة وجود عدد كبير من المحركات متصلة علي قضيب التوزيع ، وذلك لخفض احتمال التفاعل بين السعة والمحاثة ولتسهيل عملية تصميم المرشحات اللازمة.
* حيثما وجد العديد من المحركات أو الأجهزة التي تسحب تيارات توافقية فإنه يصبح من الأفضل كثيرا استخدام تجميعه واحدة single bank سمن المكثفات توصل علي قضيب التوزيع.
* إن التطبيق السليم لاستخدام مكثفات القوي علي قضيب التوزيع مع وجود تيارات توافقية يتطلب تحليلا دقيقا لمنظومة القوي من أجل تجنب رنين الموجات التوافقية الذي قد يحدث بين المكثفات وبين محولات ومحاثات باقي الدائرة.

٢- الإثارة الذاتية self - excitation

عادة يحدث تجاوز لقيمة الجهد نتيجة الإثارة الذاتية وهو ما قد يحدث في عملية التحسين الفردي للمحركات بتوصيل المكثف علي التوازي مع المحرك بحيث يوصل الاثنان معا علي مصدر التغذية أو يفصلان معا حيث يختزن المحرك طاقة ميكانيكية أثناء عملية التشغيل العادي داخل أجزائه الدوارة ،

بينما يختزن المكثف طاقة كهربية داخل مجاله الكهربي. وتنشأ ظاهرة الإثارة الذاتية عند فصل المحرك (مع المكثف) عن مصدر التغذية عندما يكون المحرك دائرا علي اللاحمل ويتم في تلك اللحظة تبادل الطاقة الميكانيكية المختزنة داخل المحرك الدائر و الطاقة الكهربية المختزنة داخل المكثف اعتماداً علي جهدهما الطرفي المشترك ، وتسبب ظاهرة الإثارة الذاتية في رفع جهد أطراف المحرك والمكثف إذا كان مقنن المكثف أكبر من اللازم.

يعتمد تيار المغنطة الردى اللازم لتشغيل المحرك في حالة اللاحمل علي تصميم مقاومته ويتم تحديد ذلك بمنحنى يعرف باسم منحني مغنطة المحرك ، حيث يعطي هذا المنحني العلاقة بين تيار المغنطة المطلوب و الجهد الطرفي للمحرك في حالة اللاحمل وعند توصيل المكثف علي التوازي مع أطراف المحرك يصبح لهما نفس الجهد الطرفي ، ويمر في المكثف تيار ردى يعتمد علي مقدار الجهد علي أطراف المكثف والعلاقة بين تيار المكثف الردى وجهده الطرفي هي خط مستقيم حيث يرتبطان معا، وعلي ذلك فلو اعتبرنا محركا جهده الطرفي ٤٦٠ فولت بمنحنى المغنطة المبين بالشكل٢-٢٠ فإن تيار المغنطة اللازم لتشغيل المحرك علي اللاحمل يساوي ١٨ أمبير ويصبح مقنن المكثف اللازم لتعويض القدرة الردية مساويا للكمية ([٣] ½ × ٤٦٠ × ١٨ / ١٠٠٠ = ١٤,٤ ك. ف. أ. ر.) .

يمكن بذلك تحديد الخط المستقيم المعبر عن أداء المكثف وتصبح نقطة تقاطع هذا الخط مع منحنى مغنطة المحرك هي نقطة الأداء في حالة اللاحمل وإذا فصل المحرك و المكثف معا عن مصدر التغذية فإن الاثنين يصبح لهما نفس الجهد ولنفس المكثف ١٤,٤ ك. ف. أ. ر. مع محرك آخر ولكن بمنحنى مغنطة مختلف (الشكل رقم ٢-٢٠) بجهد ٤٦٠ ف. يسحب المحرك تيارا رديا قدره ٨ أ بينما يسحب المكثف تيارا رديا متقدما مقداره ١٨ أ وعند فصلهما عن مصدر التغذية فإن المكثف يرفع مجال إثارة المحرك لحظيا إلي القيمة ٦٨٠ ف والتي تتحدد بنقطة تقاطع منحني مغنطة المحرك مع الخط المستقيم الخاص بالمكثف.

نلاحظ أن مصدر التغذية الذي انفصل عن المحرك والمكثف كان علي جهد طرفي ٤٦٠ ف. ، وفي لحظة انفصال المصدر كان يمر في المكثف تياراً مقداره ١٨أ ، وكان يمر في المحرك تيارا قيمته ٨ أ ، بينما أصبح الاثنان موصلين علي التوالي بدلا من التوصيل علي التوازي مما يؤدي إلي أن يفوغ المكثف الطاقة الزائدة داخلة في المحرك المتصل معه علي التوالي وهذا هو السبب الذي أدي إلي رفع الجهد الطرفي للمحرك لحظيا.

تعتمد قيمة تيار المغنطة اللازم للمحرك التأثيرية اعتمادا كبيرا علي تصميم المحرك نفسه ونظرا لأن المحركات الحديثة ذات الكفاءة العالية تعمل بتشبع أقل من المحركات التقليدية القديمة ، فهي بذلك تحتاج إلي مكثفات ذات مقننات أقل لتحسين معامل قدرتها كما في الشكل (٢-٢٠) ، حيث يحتاج المحرك وهو بذلك قد يحتاج إلي مكثف بمقنن قدرة ردية ٦ كيلو فار فقط (بدلا من ١٤,٤ كيلو فار) لتعويض قدرة اللاحمل الردية دون التعرض لظاهرة الإثارة الذاتية.

هذا يعني أن استعمال الجداول الخاصة بالمحركات التقليدية لتعيين قيمة المكثف اللازم لتحسين معامل قدرة محرك مرتفع الكفاءة ذي تصميم حديث يؤدي إلي اختيار مقنن أكبر من اللازم مما ينتج عنه تجاوز جهد المحرك المقنن في لحظات معينة ، وحدوث ظاهرة الإثارة الذاتية السابق شرحها كما نود أن نشير في النهاية إلي أن تجاوز الجهد الناتج عن ظاهرة الإثارة الذاتية لا يحدث عادة بالخطوة التي ذكرناها بسبب الحمل الميكانيكي علية .

٣- التيارات البادئة Starting Currents

تظهرمع المحركات عموماتيارات عالية في بدءالتشغيل مثل ما يحدث مع توصيل المحول وماينتج عنه ذلك التيار المندفع excessive inrush current عند بداية توصيله مع الشبكة أو وضع جهد عليه وكذلك العزم العابر transient torque للمحركات نتيجة لإعادة قفل الأطوار out-of- phase reclosing وكلها من الخصائص الفنية التي تحدد صفات المحركات ككل والمحركات التأثيرية بشكل خاص وهي تتبع

الصفات الأصلية وتصميمها وهو ما يبتعد عن الغرض من هذا الشرح بل لزم التنويـــه لأنـــه يعطـــي مؤشرا لضرورة تحسين معامل القدرة ووضع هذه الخصائص في الاعتبـــار عنـــد تصميـــم الدوائـــر الكهربية الخاصة بتشغيلها، وهذه التيارات هامة في حالة الورش المدرسية حيـــث تدريـــب الطـــلاب وإجراء عمليات الفصل والتوصيل المتكررة وهو من ضروريات الشرح مما يزيد من أهمية التيـــارات البادئة في شبكات الورش بالمدارس الفنية والصناعية وهو ما يحتاج إلي اهتمام بالملامسات المستخدمة في دوائر التشغيل من خلال مفتاح الإيقاف والتوصيل وهو ما نجده من الملامسات والتي تتكون مـــن قلب ثابت حوله السلك المعزول كملف ليجذب حافظة معدنية لتكمل توصيلات دائرة أخرى (الشـــكل رقم ٢-٢١) وهو هام ومستخدم في دوائر الوقاية من تجاوز الحمل (الشكل ٢-٢٢) كقاطع حراري.

٢-٥ : الحاكمات المنطقية المبرمجة Prpgrammable Logic Controllers

ظهر أول جهاز تحكم مبرمج فى شركة (جنرال موتور) عام ١٩٦٨ وكان ذلـــك محـــل المفـــاتيح الكهرومغناطيسية فى بادئ الأمر وبالرغم من أنه لم يكن قادرا على تحقيق متطلبات الوظائف التلقائيـــة الهامة إلا أنه كان بادرة خير فى صناعة الحاكمات القابلة للبرمجة Prpgrammable Logic Controllers والتي تطورت فيما بعد وانتشرت بكثرة فى جميع ميادين الصناعة والعمليات الإنتاجية ، وفى الفـــترة ١٩٧٠- ١٩٧٤ نتيجة للتقدم التقني فى صناعة المشغلات الدقيقة أصبحت الحاكمات القابلة للبرمجـــة PLCs أكثر مرونة وذكاء وكان سهلا على الفنيين والمهندسين الذين ليس لهم دراية بعلوم الكمبيوتـــر والإلكترونيات الرقمية التعامل معها ، بل وأصبحت هذه الأجهزة قادرة على القيام بالعمليات الحســـابية والمنطقية بكفاءة عالية من حيث الدقة وفي زمن قصير للغاية .

في الفترة اللاحقة ما بين ١٩٧٥- ١٩٧٩ حدث تقدم آخر كبير في صناعة الحاكمات القابلة للبرمجـــة وشمل زيادة سعة الذاكرة وعدد المداخل والمخارج الرقمية بل وارتقى استخدام هذه الأجهزة من التحكم الرقمي إلى التحكم التناظري حيث أصبح من السهل عمل برنامج لاستخدام أجهزة التحكـــم المـــبرمج لتحل محل حاكم تناسب تفاضلي تكاملي PID للتحكم في درجة حرارة غرفة مثـــلا أو فـــي ســـرعة محرك وكذلك أصبح من السهل تخزين أي برنامج في وحدة ذاكرة خارجية وأصبح من الممكن تغيـــير البيانات سابقة التخزين أثناء التشغيل ، وبذلك يكون المشغل الدقيق قادرا علي تغيير ثوابـــت التوقيـــت الزمني والعدادات بدون إيقاف العملية الصناعية كما كان في السابق ونتيجة لتطور علوم الاتصـــالات الهائل في هذه الفترة أصبح من المتاح استخدام مجموعة من أجهزة التحكم المبرمجة للعمل سويا فـــي شبكة محلية للتحكم في مصنع كما لو كانت جهاز واحد . وأيضا أمكن عمل تقارير وافية عن الإنتـــاج والصيانة والأعطال بواسطة الوحدات الطرفية مثل الطابعات وتخدم هذه التقارير تحسين معدل الإنتاج ونتيجة لهذه التطورات المذهلة التي حدثت في الفترة الأخيرة حلت أجهزة التحكم المبرمج PLC's محل الميني كمبيوتر في معظم التطبيقات الصناعية ومن مميزات استخدام المتحكمات المبرمجة :

سهولة إضافة أو تغيير خطوات في التحكم بدون اللجوء لأجراء تغيير في التوصيلات سواء في الدخل أو الخرج اعتمادا علي كلمة مرور (Password) وبساطة إصلاح الأخطاء والسماح بالتعامل مع عـــدد من الموضوعات (الدوال) في وقت واحد بجانب إمكانية الاختبار للتشغيل والربـــط بيـــن الأجـــهزة المختلفة لتعمل في منظومة واحدة بأسس مشتركة في موقع واحد كبير أو في عدد من المواقع المتفرقة، كما أن زمن تنفيذ العمليات المنطقية (زمن المسح Scan Time) أصبح صغيرا جدا إضافـــة إلـــي أن الأجهزة الإلكترونية تتميز بالاعتمادية العالية نسبة إلي الأجهزة الكهروميكانيكية.

أما عيوب هذه الأجهزة فتنحصر في التكلفة الاقتصادية نسبة الي النظم التقليدية التـــي كـــانت قائمـــة والحاجة إلي عاملين مهرة للتشغيل والصيانة علاوة علي تأثر هذه الأجـــهزة بالارتفـــاع فـــي درجـــة الحرارة والظروف المناخية ، ومن الجهة الأخرى ظهرت بعض المصطلحات الفنية المصاحبة لـــهذه النظم الحديثة ومنها :

١ – الإشارة التناظرية Analog Signal :
وهى إما أن تكون إشارة جهد أو إشارة تيار وتعطى القيمة العددية للإشارة مدلول عن كمية معينة على سبيل المثال جهد الخرج لمولد تاكو مستمر مثبت على محور دوران المحرك المطلوب قياس سـرعته فإذا كانت نسبة تحويل مولد التاكو 300 RPM/V وكان خرج مولد التاكو 5V يعنـى هـذا أن سـرعة المحرك تساوى N = 300*5 = 1500 RPM وهذه إشارات الجهد التناظرية عادة تـتراوح مـا بيـن (0: + 10V) أو (0: 1V) أو (0:5V) أما إشارات التيار التناظرية فعادة تتراوح ما بين (4:20 mA) .
٢ – الإشارة الرقمية Digital Signal :
وهى إشارة جهد وتكون قيمة جهد الإشارة رقمية 0 v أو 24 v على سبيل المثال الجهد المنقول عـبر ريشة تلامس فإذا كانت ريشة التلامس مفتوحة كان الجهد المنقول 0 v إذا كانت الريشة مغلقـة كـان الجهد منقول 24 v + كما هو مبين في (الشكل ٢-٢٣) .
٣ – حالة الإشارة الرقمية Digital Signal State
فإذا كان جهد الإشارة الرقمية 0 v يقال أن حالة الإشارة 0 أي منخفضة Low وإذا كان جهد الإشـارة 24 v + يقال أن حالة الإشارة الرقمية 1 أي عالية High
٤ – الكلمة WORD
تتكون الكلمة من (16) خانة فيها حالة (16) إشارة رقمية أي أن الكلمة تتكون من عدد (2) بايت وكـل بايت Byte يتكون من ٨ بت BIT وهو خانة رقمية لتخزين الحالة (٠ أو ١) .
٥ – المسجلات REGISTER
وهى أماكن لتخزين البيانات في صورة 0 أو 1 وهى تتكون من خانة واحدة أو أربـع خانـات أو 16 خانة وتوجد المسجلات داخل معالج أجهزة التحكم المبرمج .
٦ – الأعلام FLAGS
وينطق عليها أحيانا متممات تحكم داخلية Internal Control Relays أو وحـدات التخزيـن الداخليـة Markers ويتكون العلم من خانة واحدة Bit ويخزن فيها حالة التعليمات الوسيطة في صـورة 0 أو 1 وتوجد الأعلام في الذاكرة الداخلية لأجهزة التحكم المبرمجة ويستخدم النظام الثماني لـترقيم وحـدات التخزين الداخلية (الأعلام)
تعتبر الحاكمات المنطقية من التقنيات الحديثة التي ظهرت في النصف الثاني من القرن الماضي فـي مجال التحكم والوقاية أو أي منهما منفردا ولمزيد من التحليل نضع السطور التالية .

المحور الأول : الأنواع

يوجد نوعان من الحاكمات المستخدمة في التحكم في العمليات الصناعية وذلك تبعا لنظرية عملها وهما كما يلي :

النوع الأول : حاكمات غير قابلة للبرمجة

هذه النوعية أما دوائـر منطقيـة Logic Circuits أو دوائـر تحكـم بالمفـاتيح الكهرومغناطيسـية Electromagnetic Relays والمؤقتات الزمنية والعدادات ... الخ .
(والشكل ٢-٢٤) يبين البوابـات المنطقية الأساسية ومكافئها من دوائر التحكم بالمفاتيح ففي الشكل (أ) فان حالة المبين H1 تساوى 1 بينما كانت حالة S1 تساوى 0 والعكس بالعكس ويمكن تمثيل ذلـك ببوابة (NOT) مدخلها S1 ومخرجها H1 .
وفى الشكل (ب) فان المبين H1 يضئ عند الضغط على الضاغط S1 وتنطفئ عند إعادة الضـاغط S1 لوضعه الطبيعي أي أن حالة H1 تكون 1عندما تكون حالة S1 مساوية 1 والعكس بالعكس ويمكن تمثيل ذلك ببوابة (YES) مدخلها S1 ومخرجها H1 وفى وضع آخر فان المبين يضئ عند الضـغط على

الضاغط S1 أو الضاغط S2 أو كليهما أي أن حالة H1 تكـــون 1 إذا كـــان حالـــة الضـــاغط S1 أو الضاغط S2 أو كليهما يساوى 1 ويمكن تمثيل ذلك ببوابة OR مداخلها S1,S2 ومخرجها H1

النوع الثاني :حاكمات قابلة للبرمجة

أن حاكمات التحكم المبرمجة Programmable Logic Controller تعتبر أجهزة إلكترونية رقمية تستخدم ذاكرة قابلة للبرمجة لتخزين برنامج المستخدم والذي يتكون من مجموعة من الأوامر لتحقيق وظـــائف معينة وذلك للتحكم في العمليات الصناعية (الشكل ٢-٢٥) لها عدة مداخل توصل مع أجهزة المداخـــل مثل الضواغط والمفاتيح ومفاتيح نهاية المشوار والمفاتيح التقاربية ومفاتيح العوامات ... الخ وله أيضا عدة مخارج توصل مع أجهزة المخارج مثل ملفات الملامسات والمبينات والمحابس الكهربية ووسائل الإنذار الصوتي (الأبواق) ... الخ ولها أيضا مدخل لتوصيل جهاز البرمجة وذلك لإمكانيـــة إدخـــال برنامج المستخدم حتى يستعرض ذاكراته الداخلية وتتضمن هذه الأجهزة خمس وحدات هي :

١- وحدة معالج العمليات الحسابية CPU .

٢- وحدة ربط المداخل الرقمية Digital Input Interface .

٣- وحدة ربط المداخل التناظرية Analog Input Interface .

٤- وحدة ربط المخارج الرقمية Digital Output Interface .

٥- وحدة ربط المخارج التناظرية Analog Output Interface .

ويقدم (الشكل ٢-٢٥) الدائرة المبسطة لأجهزة التحكم المبرمج بصفة عامة ويمكن تصنيفها كما يلي:

الطراز الأول : هي أجهزة التحكم المبرمجة المتكاملة Compact type حيث توجـــد جميـــع العنـــاصر السابقة داخل غلاف واحد وتستخدم هذه الأجهزة للتحكم في العمليات الصناعية الصغيرة وهـــو عـــادة يحتوى على 12 مدخل و20 مخرج رقمي وموصل معه وحدة توسعه Expansion type لزيـــادة عـــدد المداخل والمخارج مستقبلا.

الطراز الثاني : أجهزة تحكم مبرمج مجزأة Module Type في هذا الطراز يخصـــص غـــلاف لكـــل عنصر من المكونات ويسمى Module فيكون منه واحدا لمصدر القدرة power supply وغيره لوحـــدة المعالجة المركزية CPU وأخر لمداخل رقمية Digital Input وواحدا للمخارج الرقمية Digital Output وغيره لمداخل تناظرية Analog Input وهكذا.

المحور الثاني : التشغيل

تختلف الحاكمات المبرمجة عن دوائر التحكم التقليدية (الكهرومغاطيسية) في أسلوب التشغيل والأداء فمثلا من (الشكل رقم ٢-٢٦) حيث في الشكل (أ) المخطط التقني لعملية صناعة بسيطة تتلخص فـــي أن المحبس الكهربي Y1 يفتح عندما يكون مستوى السائل في الخزان أقل من مستوى العوامة B1 وفى الشكل (ب) دائرة التحكم بالمفاتيح الكهرومغناطيسية والمستخدمة في تحقيق الأداء المطلوب وفيما يلـــي قائمة الجمل البرنامج المستخدم المطلوب إدخاله (حالة الإدخال في الجدول رقم ٢-٦).

الجدول رقم ٢-٦ : بيانات تعديل إدخال

حالة الإدخال		حالة التعديل	
البيانات	العملية	البيانات	العملية
I0.0	A		A
Q2.0	=	I1.0	ON
		I2.0	AN
		Q2.0	=

لتعديل أداء العملية الصناعية بإضافة عوامة أخرى أسفل الخزان كما هو مبين (بالشكل ٢-٢٧) بحيث ألا يفتح المحبس Y1 إلا عندما ينخفض مستوى السائل في الخزان عن العوامة B2 ويستمر على هـذا الحال إلى أن يمتلئ الخزان بالماء وصولا إلى العوامة B1 ولتحقيق هذا الأداء يلزم تعديل دائرة التحكم بالمفاتيح الكهرومغناطيسية السابقة لتصبح كما بالشكل (ب) في حين أنه عند استخدام جهاز تحكم مبرمج فانه يتم تعديل مخطط التوصيل مع الجهاز ليصبح كما بالشكل (ج) ويعدل قائمة الجمل لبرنامج المستخدم المطلوب إدخاله لتصبح كما في الجدول (٢-٦) بحالة التعديل .

يتضح أنه لإجراء عملية التعديل عند استخدام دوائر التحكم بالمفاتيح الكهرومغناطيسية نحتاج لتعديل دائرة التحكم باستخدام مفتاحين كهرومغناطيسيين K2,K3 بالإضافة إلى مفتاح العوامة B3 مع تعديل التوصيل ولكن عند استخدام جهاز التحكم المبرمج لن نحتاج إلا لتعديل البرامج فقط ولم نحتاج لتعديل مخطط التوصيل للجهاز سوى إضافة مفتاح عوامة يوصل بأحد مداخل جهاز التحكم المبرمج الغير مستخدمة ومن هذا يتضح مرونة أجهزة التحكم المبرمج عن دوائر المفاتيح الكهرومغناطيسية .

وسوف نتناول طريقة تنفيذ CPU لبرنامج التشغيل في السطور القادمة.

أولا : تنفيذ برنامج التشغيل

من أجل تنفيذ برنامج التشغيل الموجود في الذاكرة RAM تقوم وحدة المعالجة المركزية CPU بـأجراء العمليات المتتالية (الشكل رقم ٢-٢٨) :

١- عند بدء تشغيل جهاز PLC تمسح حالة المخارج في الذاكرة لتصبح صفرية.

٢- تنقل حالة المداخل الحقيقية من أجهزة المداخل إلى المساحة المخصصة لها في RAM في صورة 0 أو 1.

٣- ينفذ برنامج التشغيل خطوة بخطوة مع الأخذ في الاعتبار حالة المداخل المخزنة في الذاكرة وليست اللحظية وكذلك حالة وحدات الذاكرة والقيم الجارية للمؤقتات الزمنية والعدادات ... الخ وتنقل نتائج تنفيذ البرنامج إلى المساحة المخصصة لحالة المخارج في الذاكرة .

٤- تنقل حالة المخارج من الذاكرة إلى المخارج الفعلية .

٥- تكرار الخطوات ٢ ، ٣ ، ٤ بصفة دورية .

ثانيا : زمن الاستجابة Response Time

يعرف زمن الاستجابة لأجهزة التحكم المبرمج بأنه الزمن اللازم لأحداث تغيير في حالة المخارج عند حدوث تغيير في حالة المداخل اللحظية ويساوى هذا الزمن مجموع الأزمنة الآتية :

١- زمن استجابة أجهزة المداخل .

٢- زمن استجابة أجهزة المخارج .

٣- زمن تنفيذ البرنامج وهو يتراوح ما بين (1:8 ms) لكل 1 KB من البرنامج .

ثالثا : اختيار أجهزة التحكم

من أهم المواصفات الفنية لاختيار أجهزة التحكم المبرمج ما يلي :

١- عدد المداخل الرقمية والتناظرية المطلوبة .

٢- عدد المخارج الرقمية والتناظرية المطلوبة .

٣- عدد وأنواع العمليات الوظيفية المتاحة .

٤- سعة الذاكرة RAM لجهاز PLC تبعا لحجم البرنامج المطلوب .

٥- سرعة تنفيذ البرنامج لكل 1 KB من حجم البرنامج .

٦- نوعية الذاكرة الداخلية لجهاز PLC على سبيل المثال (CMOS RAM) فهي مناسبة للعمل مع أجهزة UPS عند انقطاع التيار الكهربي لأنها تستهلك قدرة صغيرة جدا أو هي EPROM ... الخ بينما أجهزة PLC هي التي تحتوى على الذاكرة RAM لتخزين البيانات المتغيرة بصفة مستديمة .

٧- اختيار النوع المتكامل Compact إذا لم يكن متوقع حدوث تطورات مستقبلية في العملية الصناعية أو اختيار النوع المجزأ Moduled إذا كان متوقع حدوث تطورات مستقبلية في العملية الصناعية .
٨- هل جهاز PLC يتعامل مع اللغات المنخفضة المستوى فقط أو المنخفضة والعالية أيضا ؟
٩- هل جهاز PLC قادر على التحكم في سرعة المحركات ومزود بحاكم تناسبى تفاضلي تكاملي ؟
١٠- هل جهاز PLC قادر على إعطاء تقارير مفصلة عن الإنتاج Documentation وعن الأعطال التي تطرأ به Diagnostic .
١١- تحديد ظروف عمل الجهاز (درجات حرارة عادية – مرتفعة – يوجد اهتزازات أو لا يوجد)
١٢- هل الجهاز يعمل داخل شبكة محلية ؟ وهل سيعمل تابع أو قائد ؟ وما هو نوع الموافق Interface الذي يلزمه لربطه مع الشبكة ؟

كما تتوافر لوحات المفاتيح ما بين الصغيرة والكبيرة ، فنجد بالنسبة للوحات الصغيرة التي في حجم الكف فان المفاتيح كل له أكثر من وظيفة (مثلما الحال في الآلة الحاسبة العلمية) ، وفي الوحدات الكبيرة ذات الشاشات الكبيرة يقوم نظام القوائم مقام الوظائف المتعددة للمفاتيح حيث تتباين لوحات المفاتيح باختلاف الشركة المصنعة فيجب الرجوع إلي كتاب المصنع .

رابعا : البرامج Software

لغات أجهزة التحكم المبرمج هي لغات منخفضة المستوى عادة Low Level Languages ومن أهمها:

١- الشكل السلمي Ladder Diagram : وهى تشبه دوائر التحكم الأمريكية حيث تحتوى على ريشة مفتوحة وأخرى مغلقة تشبه في نظمها السلم وكذلك فهي تحتوى على مخارج تشبه ملفات الملامسات ولقد قامت الشركات المصنعة لأجهزة التحكم المبرمج بتطوير هذه اللغة وإضافة بعض العمليات الوظيفية والتي تختلف في نظمها من شركة لأخرى مثل المؤقتات الزمنية والعدادات وعمليات المقارنة والإزاحة والعمليات الحسابية والمنطقية وحاكمات PID والساعات المبرمجة ... الخ .

٢- قائمة الجمل Statement List : وتتكون من عنصرين وهما العملية Operation والبيانات Data على سبيل المثال A I0.0 فالعملية هي A أي (AND) والبيانات هي I0.0 أي المدخل (I0.0)

٣- الشكل المنطقي CSF : وتستخدم في بنائها الرموز المنطقية للبوابات المنطقية وكذلك بعض العمليات الوظيفية المتبعة في الشكل السلمي .

٤- خريطة التدفق التتابعية Graphtec : تستخدم لعمل برامج العمليات الصناعية والتي تتكون من مجموعة مراحل تابعية وهى تشبه لحد كبير خرائط التدفق المستخدمة في إعداد برنامج الكمبيوتر .

من الأسباب التي تؤدى اختلاف الصياغات في البرمجة بين الشركات المختلفة يأتي اختلاف المسميات ، نظام الأرقام ، وشكل العرض على الشاشة كذلك ترقيم نقط التلامس والمخارج والمسجلات تؤثر أيضا في اختلاف الصياغات للبرامج .

سوف نأخذ مثالا على استخدام لوحة المفاتيح حيث نعرض الترتيب اللازم اتباعه لإخراج خرج يعتمد على قفل دخلين كما هو موضح بالجدول رقم (٢-٧).

الجدول رقم ٢-٧: ترتيب خرج يعتمد علي قفل دحلين

رقم	بيان الخطوة	رقم	بيان الخطوة
١	تشغيل الـ PLC .	٨	إكمال السطر حتى النهاية .
٢	تنظيف (مسح) ذاكرة الـ PLC .	٩	الضغط على مفتاح رمز الخرج وهو ملف coil .
٣	اختيار نمط التعديل Edit mode .	١٠	خصيصا رقم للخرج باستخدام مفاتيح الأرقام .
٤	الضغط على رمز نقطة التلامس (مفتوحة)	١١	الضغط على مفتاح الإدخال .
٥	تخصيص رقم لها باستخدام مفاتيح الأرقام .	١٢	التخزين في الذاكرة بالضغط على مفتاح الإدراج Insert
٦	بالضغط على مفتاح الإدخال Enter.	١٣	الآن قفل الدخلين (كلاهما وليس أحدهما) يؤدى إلى قفل الخرج .
٧	تكرار الخطوط 4و 5و 6و للدخل الثانى .		

التكوين الصحيح للبرامج السلمية Ladder diagrams أساسي وإلا فان الـ CPU لن تتقبل تخزين البرنامج غير الصحيح في ذاكرتها وستظهر غالبا رسالة تنبيه الخطأ ولذلك يجب مراعاة الآتي :

١- إدراج الدخل أولا .

٢- الخرج لابد وأن يكون آخر شئ يدرج في السطر .

٣- توصيل مجموعة من المدخلات مع خرج واحد فقط .

٤- لابد من بدء البرنامج بنقطة تلامس (دخل) ويكون إدراج نقط التلامس في الوضع الرأسي دائما.

٥- عدد المدخلات لكل خرج هو عدد محدد قد يكون 8 أفقيا × 10 رأسيا أو 11 أفقيا × 7 رأسيا .

٦- تتابع المدخلات ببعضها لابد أن يكون في الاتجاه الصحيح من اليسار إلى اليمين .

كما أن عملية البرمجة تستغرق وقتا لمسح البرنامج بالكامل Program scanning أي أن كل خطوة في البرنامج يعاد تنفيذها بعد مرور هذا الوقت كذلك يتم المسح من اليسار لليمين ومن أعلى إلـــى أســفل وعادة ما يكون بالملي ثانية حيث أنه قد نحتاج أحيانا إلى عمليات تتم مرة كل فترة زمنية ولتكن جـزء من الألف من الثانية ، في حين أنها لن تتم بالفعل إلا كل زمن مسح (بضعة أجزاء من الألـــف مـــن الثانية) لذلك نحتاج إلي التحديث الفوري Up date immediate ومن الجهة الأخرى لابد مـــن ترتيـب الأحداث في حالة استخدام المرحلات للتحكم فان أي حدث يحدث في أي مكان في المخطـــط الســلمي للتحكم ينتج عنه خرج ما مباشرة أما في مخطط التحكم فتتم الخطوات على التوالي بالترتيب فربمـــا يحدث حدث ما (دخل ما) ثم ينتهي ولم يأتي دوره بعد في البرنامج دون أن يحدث الخرج .

تتعرف هذه النظم على الأخطاء ولكل خطأ كود معين يظهر على الشاشة كما هي في النظم الصغـــيرة أو بلغة مفهومة في النظم الكبيرة مثلا قد يظهر الرقم 24 على شاشة نظام صغير معبرا عن خطأ معناه فيض زائد في الذاكرة memory overflow بينما تظهر الجملة كاملة على الشاشة في النظم الكبيرة التي تحتاج إلي إجراء تنظيف الذاكرة (وهذا معناه فقد البرنامج من على الذاكرة) وهنا تظهر فائدة وجـــود نسخة احتياطية من البرنامج على أسطوانة .

دوائر التعامل الأمن Fail-safe circuits هامة حيث نجد بعض الدوائر لا تعمل إلا بتسليط إشارة جـــهد كهربي عليه مثل دائرة التعليق latching التي تستلزم إشارة معاكسة (أي على الدخل الثاني للدائـــرة) ليتوقف خرجها وعند فقد مصدر الطاقة الكهربية سيظل الخرج معلق (مغلق) .

المحور الثالث : الأجهزة الملحقة

هناك العديد منها ونتطرق إلي أهمها في الفقرات التالية :

١ – الملامسات contactors

وهو مكون من قلب حديدي ثابت على شكل حرف E حوله ملف من السلك المعزول (بوبينـــة – Coil) وأمامه الجزء الحديدي المتحرك ومركب عليه مجموعة نقاط التلامس (CONTACTS) وعادة تكـــون مكونة من ثلاث نقاط رئيسية في وضع فصل وعدد غير محدد من نقاط التلامـــس المســاعدة منـــها المفتوح ومنها المغلق . فإذا وصل تيار إلى البوبينة يحدث مجال مغناطيسيا يجذب القلب العلوي إلـــى اسفل تجاه القلب الثابت فيتغير وضع جميع نقاط التلامس . فتصير النقاط المفتوحة مغلقـــة ، والنقـــاط المغلقة مفتوحة . فتظل هكذا حتى يتوقف التيار في البوبينة فيعود القلب المتحرك إلى وضعه الطبيعـــي مندفعا إلى أعلى بقوة ياي موجود بين القلبين ومن ثم تعود جميع نقاط التلامس إلى وضعها الأصلـــي (الشكل رقم ٢- ٢٩) . وقبل توصيل أي ملامسات يجب أولا تحديد نقاط التلامس الرئيسية والمساعدة المغلقة أو المفتوحة وكذلك طرفي البوبينة وهي عبارة عن ملف التشغيل وبالنسبة للنقـــاط الرئيســـية (MAIN CONTACTS) عادة ما يكون ثلاث نقاط في وضع مفتوح (NORMALLY) أمـــا بالنســـبة لنقاط التلامس المساعدة (AUXILARY CONTACTS) يوجد منها في وضع طبيعي مفتوح ويختصر بالحروف (NC) عادة أمـــا عـــن الأرقام المستخدمة عموما فالنقـــاط المســـاعدة المفتوحـــة تـــأخذ الأرقام 14 – 13 أو ما يليها من أرقام تبدأ بالرقم 3 والنقاط المساعدة المغلقة تأخذ الأرقام 12 – 11 أو ما

يليها من أرقام تبدأ بالرقم 1 بالنسبة لأطراف البوبينة (COIL) عادة يكون للبوبينة طرفان يرمز لـــهم بـــ A1 – A2 أو A – B . وتتوفرملامسات تعمل على قيم فولــت مقننـــة ٢٤ ، ٤٨ ، ١١٠ ، ٢٢٠ ، ٣٨٠ فولت وكلما كانت البوبينة تعمل على فولت أعلى كلما زادت قيمة مقاومتها حيث أنها تلف بقطـو سلك أرفع وعدد لفات أكثر ومن الممكن أن يعمل نفس الملامس ببوبينة ٢٤ فولت أو ٣٨٠ فولت ومن الممكن أن تتغير البوبية فقط وترك الملامسات كما هي ولذلك دائما قيمة الفولت الذي تعمل به البوبينـة يدون على البوبينة نفسها وليس على جسم الملامسات ويظهر الرقم خارج الملامسات وتوجـد أنـواع وأحجام كثيرة من الملامسات وعند شراء أو تغيير الملامسات أو استلامها يجب معرفة ثلاث أشـيـاء أساسية :

(أ) شدة التيار المار بالملامسات

يجب العلم بأن الجزء الذي يتحمل شدة المحرك داخل الملامسات هي النقاط الرئيسية الثلاثة فهذه النقاط هي المسئولة عن توصيل التيار إلى المحرك وبالتالي يجب أن يكون حجمها ونوع المادة المصنعة منها قادرا على تحمل قيمة التيار الأقصى أيا كان نوعه وكلما كانت قيمة تيار الملامسات أكبر مـن قيمـة تيار الحمل كلما كان أفضل ويعطى الملامسات عمراً أطول ولكن يجب أن يكون الاختيـار اقتصاديـا تبعا لنوع الحمل وعدد مرات التوصيل والفصل وأيضا جودة التصنيع فإذا كان عدد مـرات الإيقـاف والتشغيل أكثر يحتاج إلى الملامسات بقيمة أعلى . وكلما كانت ماركة جيدة تستطيع اختيـاره بقيمـة قريبة من قيمة تيار الحمل وكلها تيارات مقننة قياسية مثل ٩، ١٢، ١٦، ٢٠ أو ٢٥ أمبير وهكذا.

ومن المعروف أن المحرك كلما كان يعمل على فولت أعلى كلما قلت شدة تياره والعكس صحيح ولذلك نجد مثلا على الملامسات ٩ أمبير جدول يسجل إذا كان المحرك يعمل على ٢٢٠ فولـت فتصلـح الملامسات لمحرك حتى قدرة ٣ حصان أما إذا كان المحرك يعمل علـى٣٨٠ فولت فنفس الملامسات تصلح لمحرك حتى قدرة ٥.٥ حصـان (الجدول رقم ٢- ٨) .

الجدول رقم ٢-٨: بيان بمقننات المحرك

V10	KW	HB
220	2,2	3
380	4	5.5
660	5,5	7.5

(ب) فرق الجهد لدائرة التحكم

عادة لاتعمل دائرة التحكم بنفس جهد المصدر بل يفضل أن تعمل على جهد أقل لأن جهد دائرة التحكـم يصل إلى بوبينـة الملامسات ولذلك إذا كانت دائرة التحكـم ٢٤ فولـت فيجـب أن تكـون بوبينـة الملامسات٢٤ فولت بغض النظر عن قيمة فولت المصدر الذي سيعمل به المحرك .

(ج) عدد نقاط التلامس المساعدة المفتوحة والمغلقة .

هى الخاصة بعدد نقاط التلامس المساعدة وذلك تبعا للمطلوب من دائرة التحكم فمن الممكن أن تكـون الدائرة بدون أي نقاط مساعدة أو تحتوى على عدد معين من النقاط المفتوحة أو المغلقـة .

٢- قاطع تجاوز الحمل (OVERLOAD)

وظيفة قاطع تجاوز الحمل الأساسية هي حماية المحرك من أي ارتفاع في شدة التيار وهو مكون مـن ثلاث ملفات حرارية تتصل بالتوالي مع المحرك وله تدريج ضبط لشدة التيار نختـار عليـه الوضـع المناسب لنفس قيمة تيار المحرك وفى حالة ارتفاع شدة التيار التي يسـحبها المحـرك عـن القيمـة المضبوط عليها تدريج تجاوز الحمل لأي سبب إذا كان زيادة حمل أو سبب سقوط أحد الأوجـه أو ... تؤدى هذه الزيادة إلى ارتفاع حرارة الملفـات الحرارية فتتمدد وتحرك قطعة من الفبر تفصل نقـطة

مغلقة داخل قاطع تجاوز الحمل وهذه النقطة تتصل بالتوالي مع بوبينة الملامسات التي تعمل على هـذا المحرك فيفصل نقاط تلامسه الرئيسية ويقطع التيار عن المحرك وبعد إصلاح العيب يلزم إعادة نقطة تلامس قاطع تجاوز الحمل مغلقة ويمكن إعادة تشغيل الدائرة مرة أخرى.
يحتوى قاطع تجاوز الحمل على نقطة مفتوحة 97-98 بالإضافة إلى النقطة المغلقة 95-96 حيث يمكـن توصيل هذه النقطة المفتوحة مع مبين ضوئي إذا أضاء يعنى أن الآلة توقفت نتيجة لفصل قاطع تجاوز الحمل وأكثر أنواعها لا تعود إلى وضعها الطبيعي إلا بالضغط على مفتاح (RESET) ومـــن نفـس مفتاح التشغيل يمكن اختبار (TEST) صلاحية نقاط تلامسه وبعض الأنواع تحتوى على مفتاح إضـــافي يحدد لاختيارك أن كنت تريد عودة نقاط تلامس قاطع تجاوز الحمل الى وضعها الطبيعـــي يدويـا أو أوتوماتيكيا أي بعد أن تنخفض درجة حرارة الملفات الحرارية تعود لوضعها دون الحاجة الي الضغط عليها ولهذا يوجد مفتاح أخر لــ (TEST) . لبعض أنواع قاطع تجاوز الحمل نقطتي تلامس بها ثـلاث أطراف فقط الطرف 95 رئيسي – الطرف 96 (NC) – الطرف الثالث به مقطـــع يظـهر الملـف (COIL) ونقطة التلامس المساعدة المفتوحة ويمكن إضافة نقـاط مسـاعدة أخـرى تركـب أعـلى الملامسات.

٣- مفاتيح الإيقاف والتشغيل (PUSH . BUTTIONS)

تتميز هذه النوعية من المفاتيح باستقلال مفتاح التوصيل عن الفصل مما يعطي فرصة أكبر في التعامل مع الدائرة وهذه الأنواع هي :

(أ) مفتاح إيقاف (OFF) وظيفته فصل التيار فقط عن الدائرة وبالتالي تكون نقطة تلامسه فـي وضـع توصيل ولحظة الضغط عليها فصل .

(ب) مفتاح تشغيل (ON) وظيفته توصيل التيار إلى الدائرة وبالتالي تكون نقطة تلامسه فـي وضـع فصل ولحظة الضغط عليه يوصل .

(ج) مفتاح مزدوج (OFF- ON) ويحتوى على نقطتي تلامس أحدهما في وضع فصل والأخرى فـي وضع توصيل ، عند الضغط عليه يفصل التيار عن دائرة ويصله إلى دائرة أخرى وجميع هذه المفاتيح تعود نقاط تلامسها إلى وضعها الطبيعي بعد رفع الضغط عنها .

ويتواجد أيضا مفتاح تشغيل وآخر إيقاف مع مبين إشارة في قطعة واحدة حيث يتم توصيل المبين مـع نقطة مساعدة من الملامسات.

وللتفتيش الهندسي علي أي مفتاح يجب معرفة عدد نقاطه وفى أي وضع تكون بالإضافة إلـى كيفيـة تركيبه وبالتالي يجب تحديد قطر الفتحة التي سيركب عليها ويتواجد منها بمقياس أقطار مختلفة.

المحور الرابع : الدائرة الكهربائية

تتألف لوحة التحكم من جزأين الأول يخص دائرة القوى والأخر لدائرة التحكم .

أولا : دائرة القوى POWER CIRCUIT

هي الدائرة المسئولة عن توصيل التيار من المصدر إلى الحمل وتشمل عادة :

١- ثلاث وحدات مصهر أو قاطع مناسب لشدة تيار الحمل لحماية الدائرة ضد القصر .

٢- ثلاث نقاط رئيسية للملامسات أو أكثر .

٣- ثلاث ملفات حرارية لقاطع تجاوز الحمل.

٤- أسلاك أو كبلات تتحمل التيار المقنن .

فمثلا دائرة القوى لمحرك واحد بسرعة واحدة تحتوى على (الشكل رقم ٢-٣٠) :

١- مصدر ثلاثي الطور بمقنن جهد المحرك.

٢- ثلاث وحدات مصهر مناسبة لشدة تيار بدء دوران المحرك لأنها تستعمل أيضا كمفتـاح رئيسـي لفصل التيار عن الدائرة .

٣- ثلاث نقاط رئيسية للملامسات ويجب أن تتحمل نقاط التلامس شدة تيار المحرك .

٤- الملفات الحرارية لقاطع تجاوز الحمل وتتحمل أيضا تيار المحرك.
٥- أطراف المحرك الثلاث U-V-W أو B-Y-R.
تعمل دائرة القوى عندما يصل التيار إلي بوبينة الملامسات A عن طريق دائرة التحكم فتغلـــق نقـــاط التلامس الرئيسية للملامسات بقوة المجال المغناطيسي المتولد من البوبينة . فيصل التيار إلى أطـــراف المحرك مارا بالمصهر وملف قاطع تجاوز الحمل وينقطع التيار عن المحرك إذا انقطع التيـــار عـــن البوبينة فتفصل النقاط الرئيسية ويتوقف المحرك .

ثانيا: دائرة التحكم CONRTOL CIRCUIT

إنها الدائرة الخاصة بتوصيل التيار إلى بوبينات الملامسات الموجودة بالدائرة في الوقـــت المطلـــوب وعادة تحتوى على:
١- بوبينة الملامسات أو أكثر .
٢- طرفان بينهم فرق جهد لمقنن البوبينة .
٣- مصهر أو قاطع يتحمل تيار البوبينات الموجودة بالدائرة .
٤- نقطة التلامس المغلقة لقاطع تجاوز الحمل .
٥- مفاتيح الإيقاف والتشغيل .
٦- نقاط التلامس المساعدة للملامسات التي تحتويها الدائرة (تبعا للمطلوب من دائرة التحكم) .
هذه الأجزاء والسلك المستخدم لدائرة التحكم تتحمل فقط شدة تيار البوبينات أو مبينات الإشارة والتـــي تستهلك قيمة تيار ضعيفة لأنها دائرة التحكم .
كما أن دائرة التحكم لتشغيل محرك واحد أيضا تحتوى على (الشكل رقم ٢-٣١) :
١- مصهر F1 لحماية أجزاء دائرة التحكم .
٢- نقطة تلامس مغلقة لقاطع تجاوز الحمل F2.
٣- مفتاح إيقاف S1.
٤- مفتاح إيقاف S2.
٥- بوبينة الملامسات (A-B) .
٦- نقطة تلامس مساعدة مفتوحة من نفس الملامسات
وتعمل الدائرة تبعا للتسلسل التالي :
(أ) عند الضغط على مفتاح التشغيل S2 يصل التيار الى البوبينة مارا بالمصهر ونقطة قاطع تجـــاوز الحمل ومفتاح الإيقاف فتنجذب نقاط التلامس الرئيسية فى دائرة القوى ويعمل المحرك ، أمـــا النقطـــة المساعدة المفتوحة المتصلة بالتوازي مع مفتاح التشغيل وظيفتها كنقطة تعويض يمر التيار من خلالـــها حتى بعد رفع الضغط عن مفتاح التشغيل وفصله أي في حالة عدم وضع هذه النقطة أو تلفها ســـيعمل المحرك فقط أثناء ضغطك على مفتاح التشغيل ولحظة تركه يقف المحرك .
(ب) لحظة الضغط على مفتاح الإيقاف ينفصل التيار عن البوبينة فتعود نقاط التلامس الرئيسية وكذلـك النقطة المساعدة إلى وضعهم الطبيعي .
(ج) أثناء عمل المحرك إذا ارتفعت شدة تياره لأي سبب تتمدد الملفات الحرارية لقاطع تجاوز الحمـــل فتصل نقطته المغلقة F2 ويقف المحرك . أما فى حالة عدم وضع قاطع تجاوز الحمل بالدائرة فسيعمل المحرك طبيعيا في الظروف العادية أى فى حالة عدم ارتفاع شدة تياره ولكن إذا مـــر تيـــار عـــالي فسيظل يعمل حتى يحترق لأنه بدون حماية .
(د) إذا أنقطع مصدر التيار أثناء التشغيل ولم يغير أحدا وضع أي مفتاح فلن يعمل المحرك في حالـــة عودة التيار مرة أخرى إلا بالضغط على مفتاح التشغيل وهذه من المزايا الهامة في الاعتماد علي مثـل هذه النوعية من المفاتيح .

يعطي الشكل رقم ٢-٣٢ دائرة التحكم لمحرك واحد حيث وصل النقطة المغلقة قاطع تجاوز الحمل أسفل البوبينة ولم يضعها فى البداية من أعلى كما هو معتاد مما يفيد أنه لا ترتيب ولا قيد لوضع أي نقطة مادامت تؤدى الغرض منها ، فالغرض من نقطة قاطع تجاوز الحمل أنه عند فصلها يجب أن نقطع التيار عن البوبينة وكذلك بالنسبة لأي نقطة يبين الشكل أن مبين إشارة يضئ فقط في حالة فصل قاطع تجاوز الحمل تحديدا للعيب من تجاوز الحمل ويبين (الشكل رقم ٢-٣٣) دائرتي القوى والتحكم لمحرك واحد حيث يعمل الملامس علي ٢٤ ف بينما مبينات الإشارة بجهد ٢٢٠ ف . ويتم التحكم في تشغيل المحرك بطرق عدة فمثلا من الممكن تشغيل المحرك من مفتاح التشغيل أو مفتاح التشغيل، ومن الممكن إيقافه من مفتاح الإيقاف S1 أو من مفتاح الإيقافS3 أما الدائرة المعطاة في الشكل ٢-٣٤ فلا يمكن تشغيل المحرك إلا بالضغط على مفتاح التشغيل S2 ومفتاح التشغيل S4 معا وهي تناسب المكابس والمقصات الكهربائية تأمينا لسلامة القائم علي التشغيل لان مفتاحي التشغيل يعملان علي التوالي كهربيا.

يمكن التحكم في اتجاه دوران محرك ثلاثي الطور بالاستعانة بملامسات مزدوجة (الشكل رقم ٢-٣٥) فنلاحظ أنه أستخدم ملامسين لتشغيل نفس المحرك يصل التيار إلي أطراف المحرك بالترتيب
فيدور المحرك فى اتجاه معين ، أما عند غلق الملامسات B يصل التيار إلي نفس أطراف المحرك ولكن بالترتيب المحدد سلفا وبالتالي تكون حركة دوران المحرك فى الاتجاه المعاكس حيث أنه يكون قد تم تبديل وجهين.

عند تشغيل المحرك فى اتجاه أو الاتجاه المعاكس تكون قيمة شدة تياره ثابتة في الاتجاهين (إلا إذا تغيرت قيمة الحمل فى اتجاه عن الاتجاه الآخر كما يحدث فى المضخات مثلا) وبالتالي يوضع قاطع تجاوز الحمل واحد بحيث أنه عند غلق أى الملامسات من الاثنين يمر تيار المحرك عبر الملفات الحرارية لقاطع تجاوز الحمل فيكون حماية للمحرك أثناء تشغيله يمينا أو يسارا ، وفى حالة تغيير الاتجاه تأكد تماما من عدم تشغيل الملامسات معا بأي حال من الأحوال (كما سترى فى دائرة التحكم) فإذا حدث وأغلق الملامسات معا سيحدث قصر حيث سيتصل الوجهين اللذان تم تبديلهما معا مما يسبب تلف النقاط الرئيسية للملامسات.

يلزم وضع مساعد قاطع تجاوز الحمل RM ومفتاح الإيقاف S على الخط الرئيسي في دوائر التحكم (الشكل رقم ٢-٣٦) بحيث أنه إذا فصل قاطع تجاوز الحمل أو مفتاح الإيقاف وبالتبعية سيفصل التيار عن البوبينة A أو البوبينة B والمفتاح PA يخص تشغيل البوبينة A فقط ومفتاح التشغيل PB وآخر لتشغيل البوبينة B وكلا منهما متصل علي التوازي بنقطة مساعدة مفتوحة من البوبينة الخاصة به كما نلاحظ أن النقطة المساعدة الاولي المتصلة علي التوالي مع البوبينة الثانية والنقطة المساعدة B المتصلة أيضا علي التوالي مع البوبينة الأولى لمنع وصول التيارعن بوبينة إلي الأخرى حتى بالضغط علي مفتاح تشغيلها . إضافة إلي ذلك نجد أن المبين يضئ منذرا عن توقف المحرك والمبين الاخر يضئ لتشغيل المحرك في اتجاه ، أما المبين الثالث يضئ عند حالة الدوران في الاتجاه المعاكس .

ثالثا : الحساسات التقاربية (PROXIMITY SENSORS)

الحساسات التقاربية تشبه من ناحية الأداء مفاتيح نهاية الشوط بل بإمكانيات أفضل لأنها لا تحتاج الى تلامس أو ضغط ميكانيكي كما يحدث مع مفاتيح نهاية الشوط حيث يعتمدعلي اقتراب الحمل من الحساس أو الدخول في مجال حساسيته فيتغير وضع نقاط ملامسات الحساس ومنها عدة أنواع فمنها ما يستشعرفقط الأجزاءالحديديةمثل الحساسات التقاربية الحثية(INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR) ومنها ما تستشعر الأجزاء العازلة (بلاستيك – كرتو) كالحساسات التقاربية السعوية (CAPACITIVE PROXIMITY SENSOR) وتتميز هذه الحساسات بمدى حساسية قصير (مم) كما يستعان بالحساسات الكهروضوئية (PHOTO – ELECTRIC SENSOR) للمسافات الكبيرة حيث يعتمد علي نظام الإرسال (مرسل ومستقبل) علي مسافة تصل إلي عدد من الأمتار أحيانا وفيها يبث

المرسل شعاعا يستقبله المستقبل (عادة يلزم ضبطه بحيث يصل الشعاع إلي بؤرة المستقبل) وعندما يتقاطع هذا الشعاع مع أي جسم أو شئ آخر يتغير وضع نقاط تلامس الحساس ويستخدم فى السلالم المتحركة أو الأبواب الكهربائية للمصاعد وغيرها أو بوابات المطارات ومحطات القطارات والمترو وفي بعض الأماكن الأخري . لما كانت هذه الأجهزة تعتمد علي الشعاع فتتسبب الأتربة والظروف الجوية أحيانا في خفض درجة الحساسية مما ينجم عنه أعطال كثيرة بالآلات المعتمدة على حساسات فقط لعدم نظافة الحساس أو تغيير وضعه المضبوط عليه ويجب أيضا التأكد من جهد التشغيل ونوعيته (متردد أومستمر). بالنسبة لتوصيل الخلية كهروضوئية فيوجد أيضا طرفين بتيار متردد وثلاث أطرف للتيار المستمر لتوصيله مثل الحساسات المغناطيسية بينما استخدام ٥ أطراف يوفر الإمكانية للعمل مع كلا من التيار المتردد أو المستمر .

رابعا : الاستخدامات Applications

تتنوع التطبيقات هنا في نطاق واسع نذكر بعضا منها :

١- مفاتيح مراقبة الضغط (PRESSURE SWITCHES) .

٢- مفاتيح مراقبة مستوى السوائل (LIQUID LEVEL SWITCHES) .

ويتوفر أيضا متممات إلكترونية لمراقبة أداء نفس الخاصية .

٣- مفاتيح نهاية الشوط (LIMIT SWITCHES) :

هذه المفاتيح عادية ولها نقطة تلامس أو أكثر مفتوحة والمفتاح مصمم للضغط عليه يدويا أما رأس مفتاح نهاية الشوط يتغير تبعا لوظيفته فصل أو توصيل الدائرة عند وصول الحمل إلي مسافة محددة في نقطة معينة لا يمكن حسابها بالوقت عن طريق متمم زمني فتشغيل المحرك وقت معين فمن الممكن أن تتغير قيمة هذه المسافة ولو قليلا نتيجة لزيادة الحمل مثلا ، ولذلك فهو يثبت مفتاح نهاية الشوط عند نقطة معينة وعند وصول الحمل إلى هذه النقطة يضغط جزء بارز على مفتاح نهاية الشوط فيتغير وضع نقاط تلامسه فيتوقف المحرك أو يعطى إشارة فصل محرك آخر أو يعكس اتجاه الدوران أو ... ألخ. وتظهر هذه التطبيقات في المصاعد ووسائل التحميل الآلية وغيرها .

٤- مفاتيح التوقيت الزمني (TIMER) :

يغير المتمم الزمني وضع نقاط تلامسه بعد زمن محدد من توصيله بالتيار مغيرا حالة الدائرة آليا ومنها أنواعا متعددة مثل :

(أ) متمم بالمحرك : يتكون من محرك صغير يدير مجموعة من التروس بينها ترس رئيسي له جزء بارز يتغير وضع الجزء البارز بتغيير تدريج البكرة المسئولة عن ضبط التوقيت أو يقرب هذا الجزء البارز من نقطة التلامس بعد فترة قصيرة وكلما ابتعد طالت هذه الفترة وله أوضاع ضبط لتحديد الزمن المناسب للدائرة التي تتعامل مع هذا المتمم الزمني.

(ب) مرحل زمني إلكتروني : هوعبارة عن كارت مطبوع يحتوى على مكونات إلكترونية تقوم بعمل التفريغ الكهربي في دائرة تحتوي علي مكثف لتحديد الثابت الزمني للتفريغ ومنها طرز مختلفة مثل :

النوع الأول : مزمن بطرفي توصيل ON delay

تحتوى هذه النوعية على طرفين فقط تتصل علي التوالي مع بوبينة الملامسات المراد تشغيلها بعد زمن معين فعند غلق النقطة k يبدأ المرحل في الأداء ليكمل الدائرة بعد الزمن المحدد وأكثر هذه الأنواع من المرحلات يمكن أن تستخدم في دوائر التيار المتردد أو المستمر ، وكذلك بالنسبة للجهد من الممكن أن يعمل المتمم عليه ويتراوح من ٢٤ إلي ٢٤٠ فولت.

النوع الثاني : متمم زمني رباعي الأطراف OFF delay

يتصل طرفان علي التوالي مع بوبينة الملامسات لتصل إليها الإشارة والطرف الثالث يتصل مع مفتاح أو نقطة تلامس ملامس آخر لتغلق عند بداية عمله والطرف الأخير يتصل بالطرف الآخر لنقطة التلامس ومصدر التيار .

في حالة غلق المفتاح يصل التيار مباشرا إلى البوبينة حتى يفصل المفتاح مـرة أخـرى فيبـدأ العـد التنازلي كي يفصل التيار عن البوبينة .

النوع الثالث : مرحل زمني مزدوج (ON/ OFF delay)

يتميز هذا النوع بإمكانية استخدامه ON delay أو OFF delay بالاستعانة بمفتاح قلاب.

٥- لوحة تحكم

يلزم كتابة بيانات جميع الأجزاء المطلوبة لتنفيذ اللوحة قبل شرائها والتأكد من سعة كل الملامسات تبعا لقدرة الحمل وظروف تشغيله ويفضل أن تعمل دائرة التحكم بجهد منخفض وليكن ٢٤ ف خاصـة إذا كانت اللوحة تحتوى على عدد كبير من الملامسات ، كذلك يجب تحديد إجمالي عدد نقـاط التلامـس المساعدة المفتوحة والمغلقة الخاصة بكل الملامسات.

يجب وضع وسائل أمان حيث لا يمكن الاستغناء عن وسائل الحماية الرئيسية المغناطيسية الممثلة فـي المفاتيح أو المصهر والحرارية كقاطع تجاوز الحمل. يتم تثبيت الأجـزاء علـى اللوحـة بالأسـلوب المناسب مع ترقيم أو تسمية كل الملامسات كما هو موجود بالدائرة ، كما أنه من الضروري التأكد من إحكام ربط المسامير ويفضل استخدام نهايات توصيل مقننة ومخرج كل حمل تحدد أطرافه على علـب التوصيل. أما بالنسبة لدائرة التحكم نجد أن بعض الأجزاء غير موجودة على اللوحة ولكنها موجـودة فى الآلة مثل مفاتيح الإيقاف والتشغيل أو مفاتيح نهاية الشوط أو الحساسات وغيرها وبالتـالي يجـب ترقيمها على الرسم وعلي اللوحة ومن الناحية الجوهرية هندسيا . يجب اختبار صلاحية جميع هـذه الأجزاء قبل تسليط الجهد عليها لضمان صلاحيتها لتحمل الجهد والتيار المقنن.

يلزم اختبار جميع العمليات التي تؤديها الآلة كما يتم تثبيت اللوحة على الآلة في المكان المخصص لها بحيث تتأكد من عدم تصادمها بشيء خارجي أو دخول أتربة أو سوائل أو عوالق داخلها وحمايتها من التلف .

جدير بالذكر أن كل آلة لها برنامجها الخاص بها وعلى أساسه صممت دائرة تحكمـها وكـل دائـرة مختلفة عن الأخرى من حيث مكوناتها وطبيعة عملها ولذلك فعند إصلاح أي دائرة يجـب أولا فـهم طريقة تشغيلها وتحديد الخط المعطل قبل البدء فى أعمال الصيانة بها ، علاوة على ذلك هناك أعطـال خبيثة لا يمكن للفني بالخبرة أو الممارسة فقط أن يقوم بإصلاحها ولكن هناك خطوات يجب أتباعـها ، ولتحديد العطل يجب تفهم عمل الماكينة .

٦- التطبيقات الرقمية

هناك الكثير من التطبيقات الرقمية لأجهزة التحكم المبرمج مثل :-

١- التحكم في تشغيل وإيقاف المحركات الكهربية .

٢- العمليات التتابعية التي تعتمد على الزمن فقط .

٣- العمليات التتابعية التي تعتمد على الزمن وعلى ظروف تشغيل معينة .

٤- العمليات المشروطة .

وهذه التطبيقات تشترك فى بعض الخطوات عند تنفيذها باستخدام أجهزة التحكم المبرمج مثل :

١- قائمة التخصيص Assignment List حيث يخصص مدخل من مداخل جهاز التحكم المبرمج لكـل جهازويجب تحديد نوع الريشة المستخدمة لجهاز المداخل (مفتوحة طبيعيا NO - وهي المفضلـة - أو مغلقة NC) ويخصص مخرج من مخارج جهاز التحكم المبرمج لكل وحدة مخارج .

٢- الشكل السلمي حيث لا يختلف عن استنتاج دوائر التحكم الكهرومغناطيسـية باسـتخدام المفـاتيح الكهرومغناطيسية مثل الملامسات .

٣- التوصيل مع جهاز التحكم المبرمج سواء كان من النوع المتكامل أو المجزأ Moduled Type .

٤- الدائرة الرئيسية وهى لا تختلف عن المستخدمة في دوائر التحكم التقليدية باستخدام الملامسات.

فمثلا مع المنظومة الميكانيكية لحركة مجموعة من السيور المتتابعة لنقل خامات في صومعة غلال ولتحريك المنظومة يتم تشغيل السير الأول ثم الثاني فالثالث ومع زيادة الحمل علي محرك السير الأول يتوقف السيرين الآخرين أما إذا زاد الحمل علي السير الثالث فهو الذي يتوقف فقط ويعرض (الشكل رقم ٢-٣٧) الدائرة الرئيسية لجهاز PLC (الشكل أ) وللمحركات (الشكل ب) .
بينما يعرض (الشكل رقم٢-٣٨) نظرية عمل الشكل السلمي لنقل السيور عن طريق المحركات الخاصة بها .

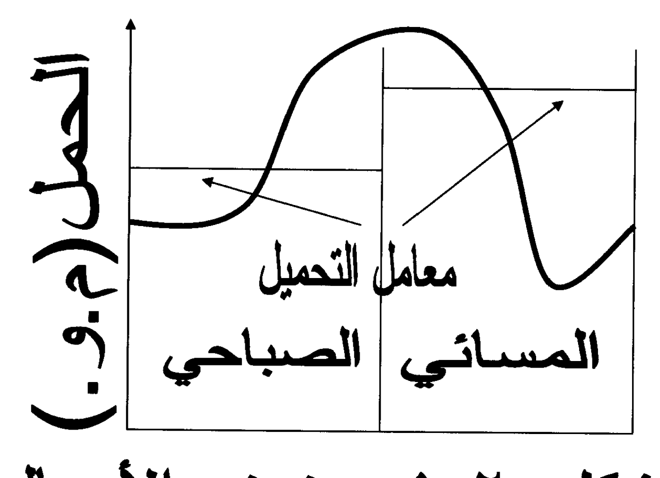
أولا : التشغيل

عند الضغط على ضاغط التشغيل S2 تغلق ريشة S2 الموجودة فى الخط الأول فيكتمل مسار التيار K1 ويقوم بغلق ريشته المفتوحة K1 الموصلة بالتوازي مع ضاغط S2 (الخط الأول) فيعمل على الإبقاء الذاتي لمسار التيار بعد إزالة الضغط عن ضاغط التشغيل S2 وكذلك تغلق ريشة K1 فى الخط الثاني فيكتمل مسار تيار K2 ويعمل K1 وتباعا تغلق ريشة K2 المفتوحة فى الخط الثالث فيكتمل مسار K3 وتعمل المحركات الثلاثة وعند حدوث زيادة فى الحمل على محرك السير الأول تغلق ريشة المتمم الحراري F2 الموصلة لجهاز PLC فتصل إشارة عالية للجهاز للمدخل I 0.2 فتنعكس حالة ريش F2 فى الشكل السلمي وبالتالي ينقطع مسار تيار K1 وتباعا تفتح ريشة K1 فى الخط الثاني فينقطع مسار تيار K2 وتباعا تفتح ريشة K2 وتباعا تفتح ريشة K2 في الخط الثالث فينقطع مسار تيار K3 وتتوقف المحركات الثلاثة .
وعند حدوث زيادة في الحمل على محرك السير الثاني تغلق ريشة المتمم الحراري الموصلة مع جهاز PLC بالمدخل I 0.0 فتنعكس حالة ريش I 0.4 بالشكل السلمي ومن ثم تفتح ريشة F4 فى الخط الثاني وينقطع مسار تيار K2 وتباعا تفتح الريشة K2 الموجودة فى الخط الثالث فينقطع مسار تيار K3 وتتوقف المحركات M2,M3 فقط وعند حدوث زيادة فى الحمل على محرك السير الثالث تغلق ريشة المتمم الحراري F6 الموصلة بجهاز PLC مع المدخل I 0.4 فتنعكس حالة ريشة F6 فى الخط الثالث وينقطع مسار K3 ويتوقف المحرك M3 فقط وأثناء دوران المحركات الثلاثة يمكن إيقافهم بواسطة ضاغط الإيقاف S1 فعند الضغط عليه تغلق ريشة S1 الموصلة بجهاز PLC مع المدخل I 0.1 فتصل إشارة عالية لجهاز PLC ينتج عن انعكاس حالة ريش S1 فى الشكل السلمي فينقطع مسار تيار K1 وتباعا ينقطع مسار تيار K2 وتباعا ينقطع مسار تيار K3 وتتوقف المحركات الثلاثة .

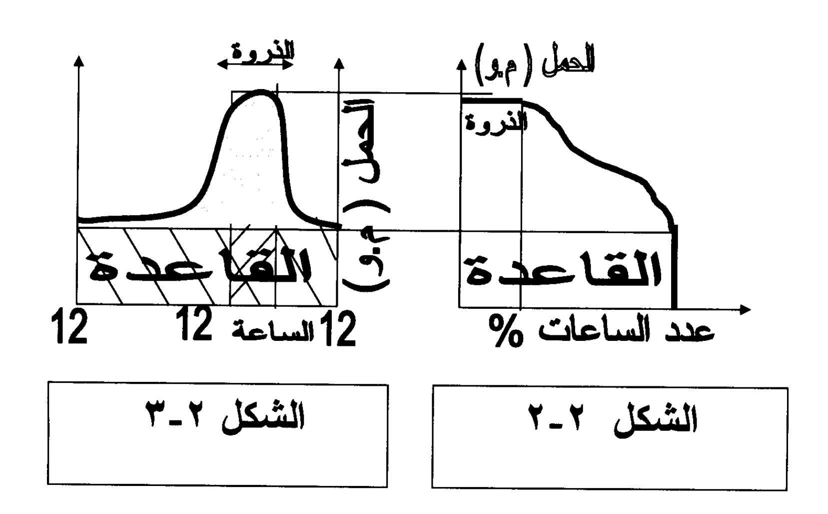
ثانيا : الأعطال

يوجد عدة أنواع من الأعطال التي تتعرض لها الأنظمة العاملة بأجهزة التحكم المبرمج وهي :
تلف فى CPU - سوء تحميل البرامج - الذاكرات الخارجية - استخدام خاطئ للدالة Force - مشاكل في البرامج - مديولات المداخل أو المخارج أو الاتصالات Bus Modules - نظام التحكم العامل بجهاز PLC وفي هذه الحالة يلزم تحديد المشكلة ومدى الخلل في التشغيل .
هناك أيضا العيوب التي تؤدى لتعطيل كلى لنظام التحكم فمثلا عند التوقف الكامل لنظام التحكم يجب فحص الموحد المشع (مبين الحالة STATUS) لوحدة المعالجة المركزية CPU ويعمل على وضع RUN فإذا كان CPU على وضع STOP بالرغم من أن مفتاح الوظيفة . MODE SW الخاص بـ CPU على وضع RUN فهذا يكون ناتج إما عن انقطاع وعودة التيار الكهربي أو انخفاض جهد البطارية وهذا يحتاج إلى دراية كاملة بالبرامج فقد تستخدم بعض صناديق النظام مثل OB S فى ذلك ويمكن معرفة سبب المشكلة التي أدت إلى عمل CPU على وضع STOP بمراجعة Interrupt Stack أو Control Bits ويمكن الرجوع إلى كتالوج جهاز التحكم المبرمج للتعرف على كيفية تحقيق ذلك وأحيانا تظهر شاشة على جهاز البرمجة تعطى سبب المشكلة من خلال البرامج الذكية ، أما إذا كان CPU على وضع RUN ومبين حالة RUN مضاء فيجب فحص موديولات الاتصالات Bus Modules وذلك بفحص مبينات حالتهم لمعرفة أيهم به مشكلة أو التأكد من التوصيل الجيد لمسار الاتصال مع CPU

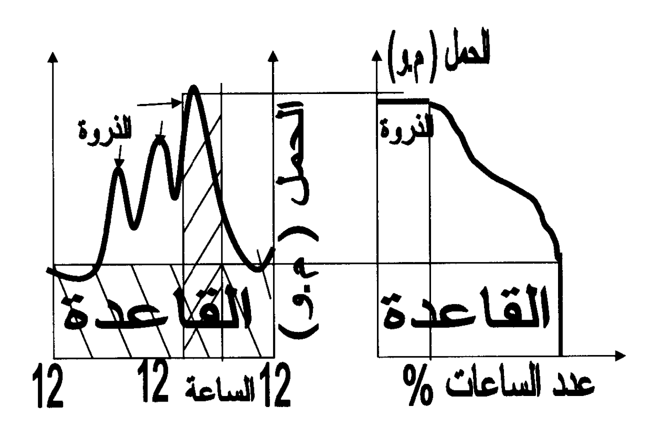
فى حالة عدم توفر مبينات حالة لها ، أما إذا كان CPU على وضع RUN ومبينات حالة RUN, STOP غير مضيئة فى هذه الحالة يجب فحص مصدر القدرة Power Supply .



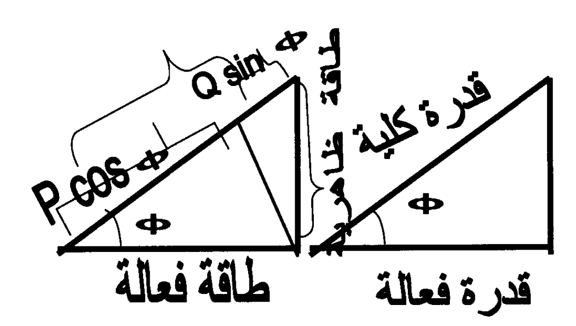
الشكل ٢-١: منحني الأحمال



الشكل ٢-٣	الشكل ٢-٢

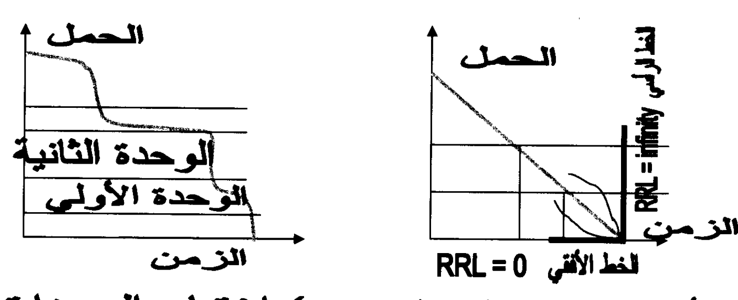


الشكل رقم ٢-٤ : منحني التحميل الزمني
ومنحني الحمل متعدد الذروة



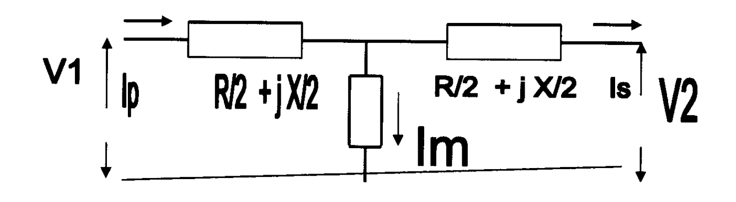
أ) مثلث القدرة ب) مثلث الطاقة لوحدة الزمن

الشكل رقم ٢ - ٥

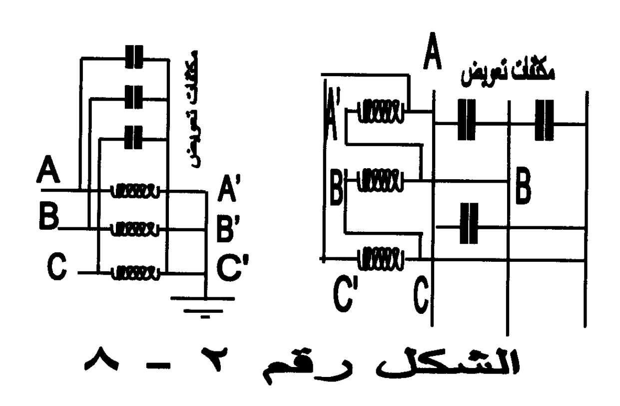


أ)معدل ارتفاع التحميل ب) اختيار الوحدات

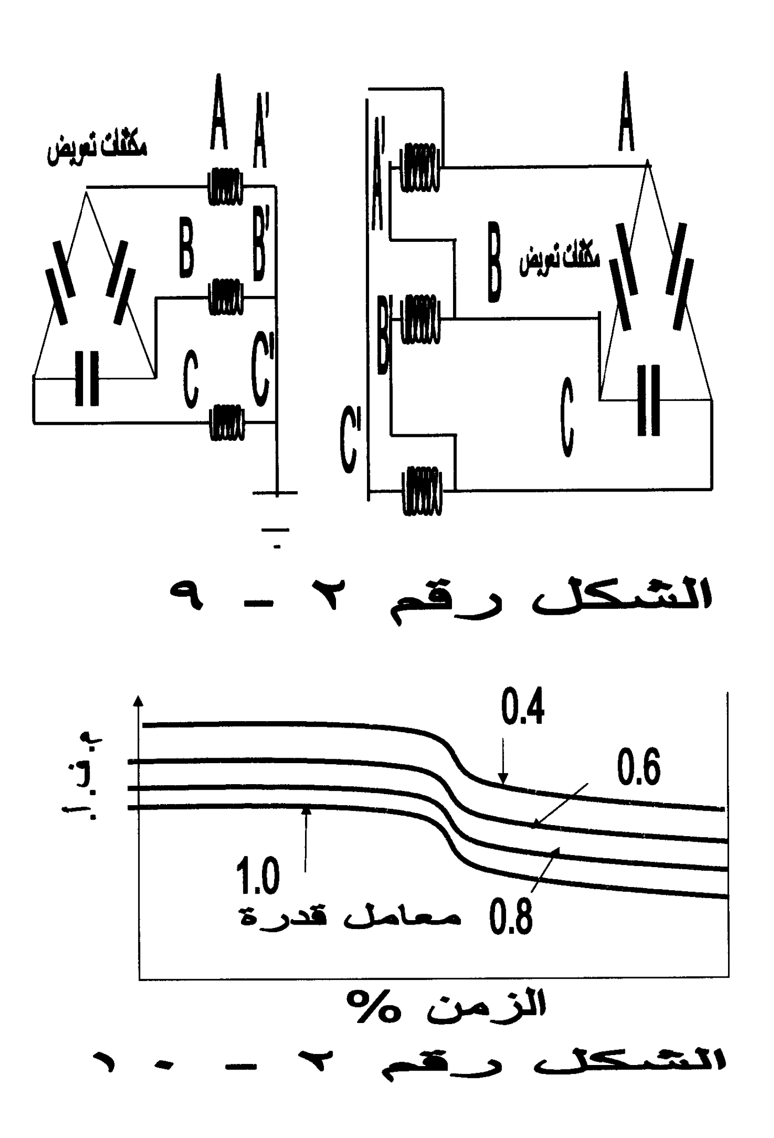
الشكل رقم ٢-٦ : منحني الحمل الزمني عند تحميل الوحدات



الشكل رقم ٢ - ٧

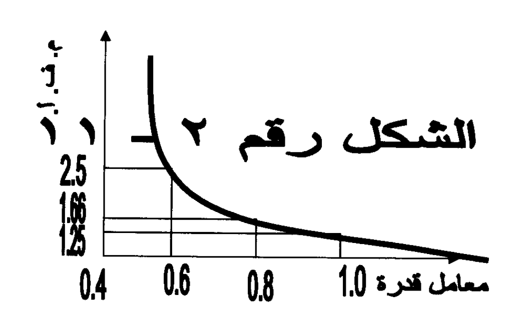


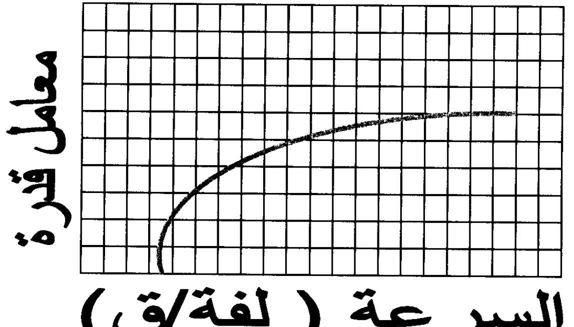
الشكل رقم ٢ - ٨



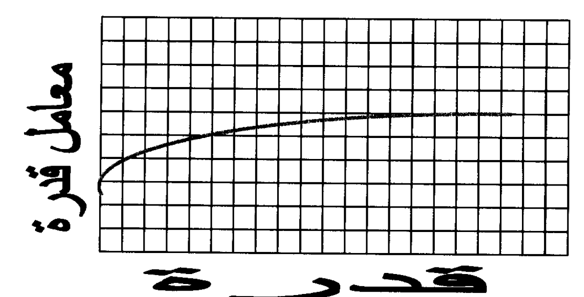
الشكل رقم ٢ – ٩

الشكل رقم ٢ – ١٠





شكل ٢-١٢: تأثير السرعة



شكل ٢-١٣: تأثير القدرة

معامل قدرة

75 HP

5 HP

1 HP

نسبة التحميل للمحرك 1000 rpm

شكل ٢-١٤: خواص الفقدرة النمطية

معامل قدرة

القدرة

p. f.

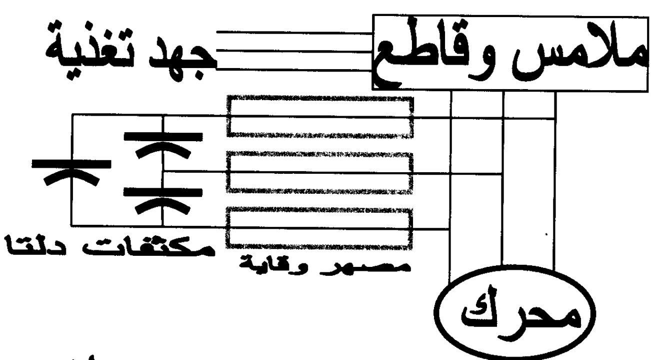
kVA

kVAR

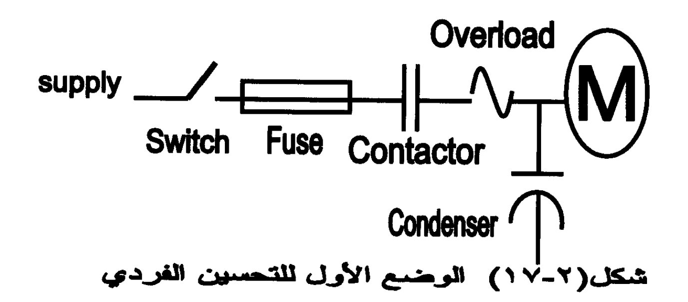
kW

نسبة التحميل للمحرك

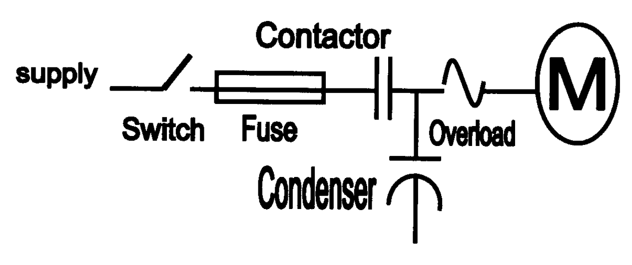
شكل ٢-١٥ خواص نمطية لمحرك



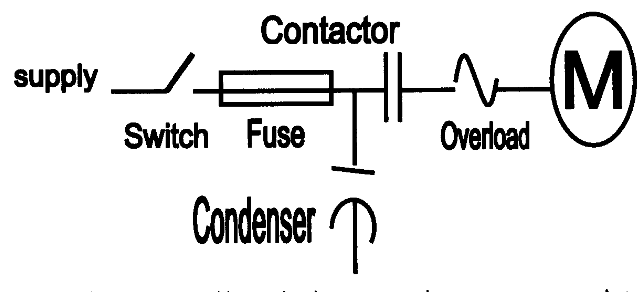
شكل٢-١٦ : توصيل مكثف جهد منخفض على أطراف



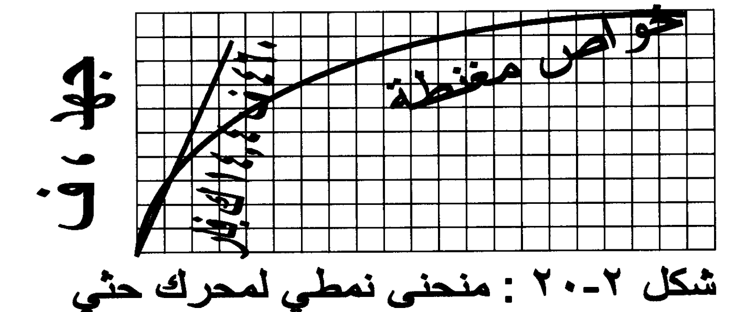
شكل(٢-١٧) الوضع الأول للتحسين الفردي



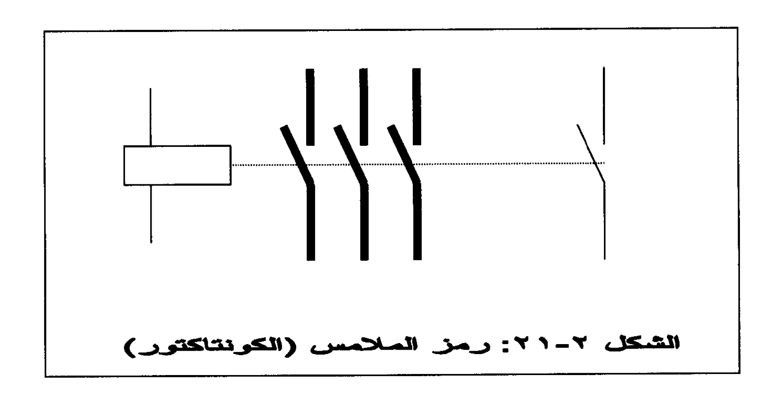
شكل(٢-١٨) الوضع الثاني للتحسين الفردى



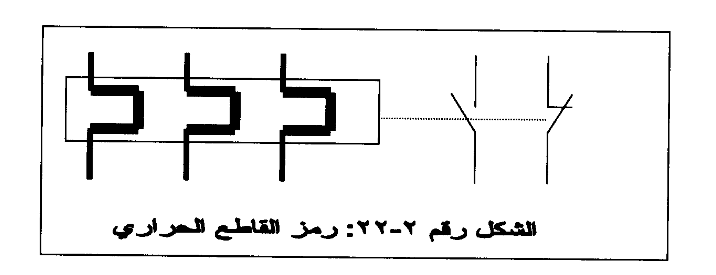
شكل(٢- ١٩) الوضع الثالث للتحسين الفردى



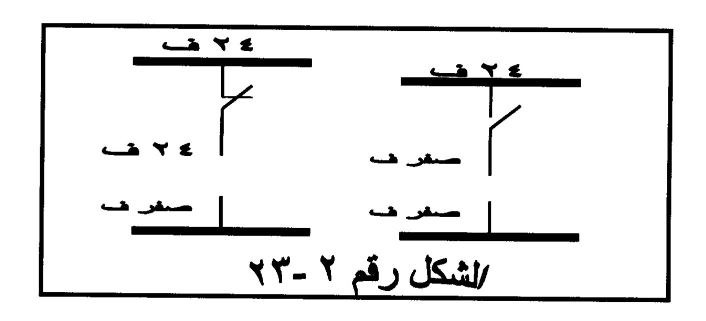
شكل ٢-٢٠ : منحنى نمطي لمحرك حثي



الشكل ٢-٢١: رمز الملامس (الكونتاكتور)

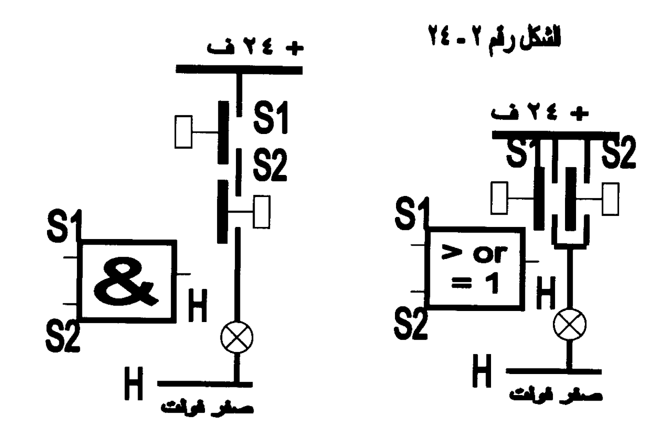


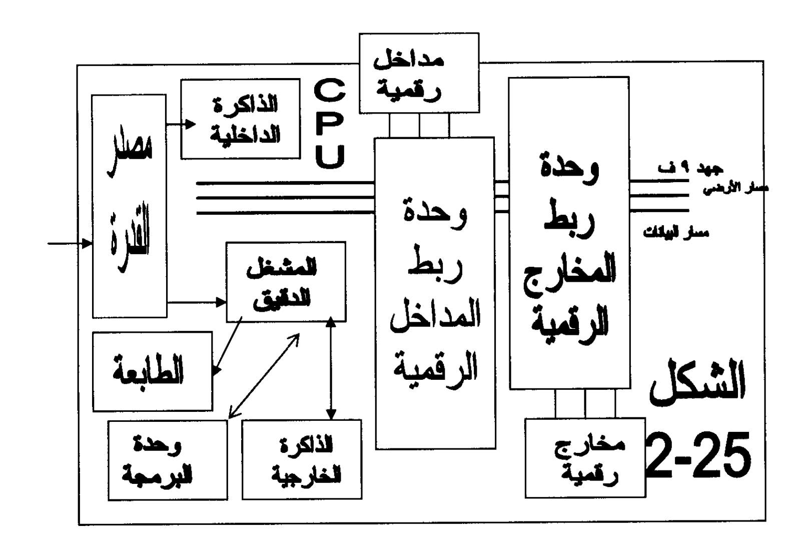
الشكل رقم ٢-٢٢: رمز القاطع الحراري



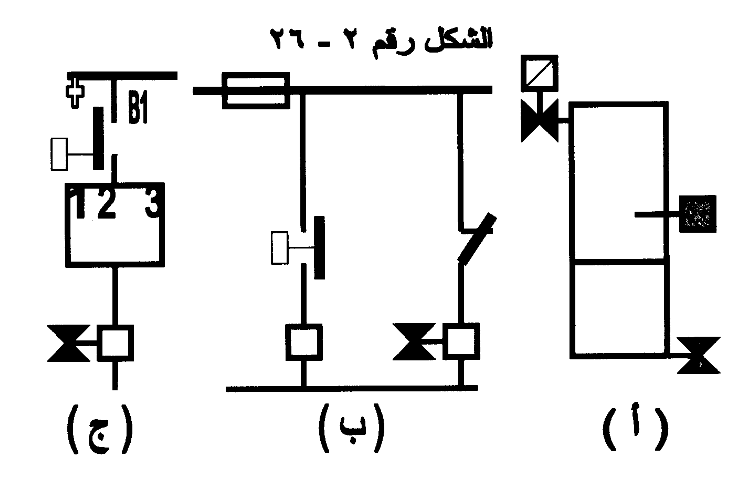
الشكل رقم ٢ -٢٣

الشكل رقم ٢ - ٢٤

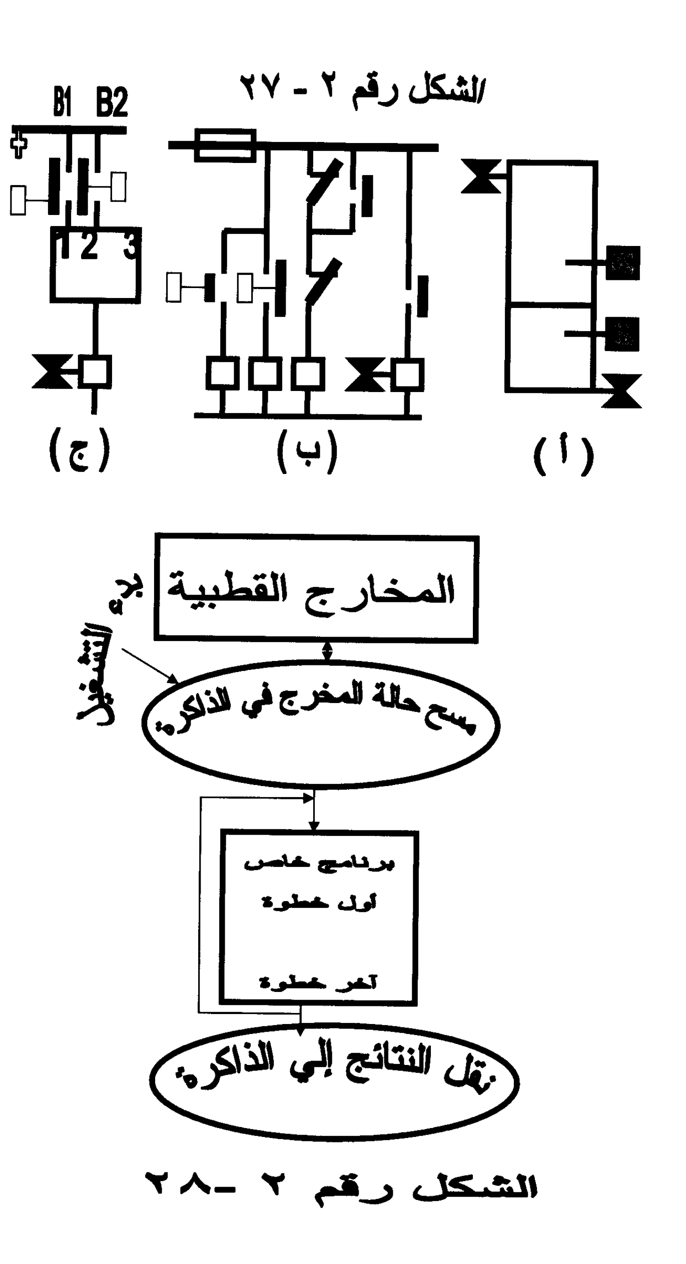




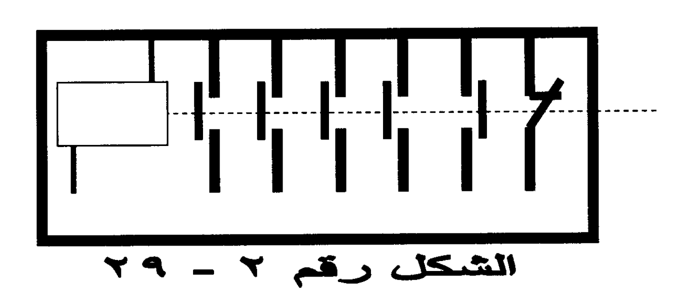
الشكل رقم ٢ - ٢٦



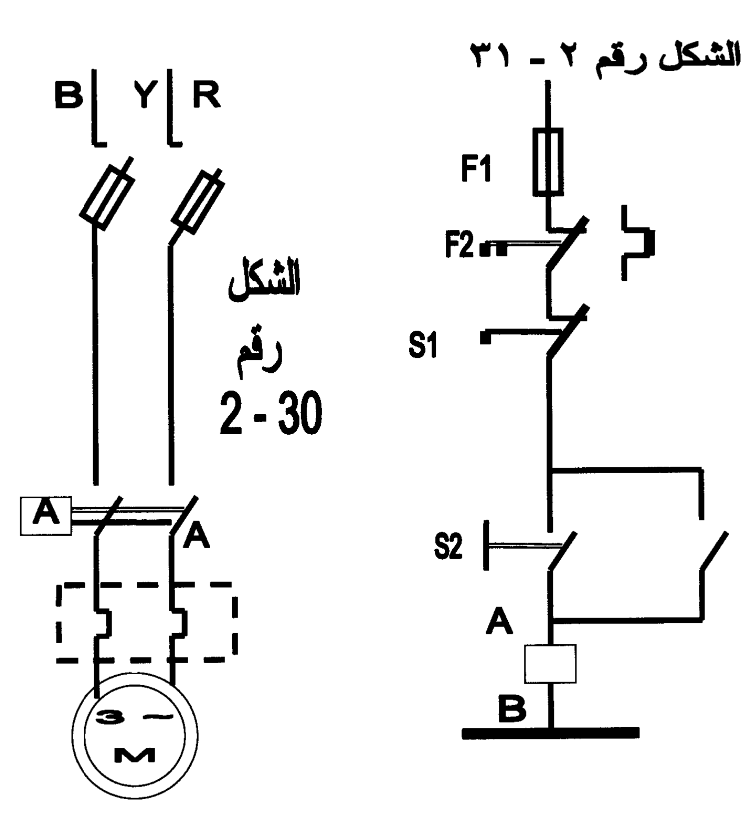
الشكل رقم ٢ - ٢٧



الشكل رقم ٢ -٢٨

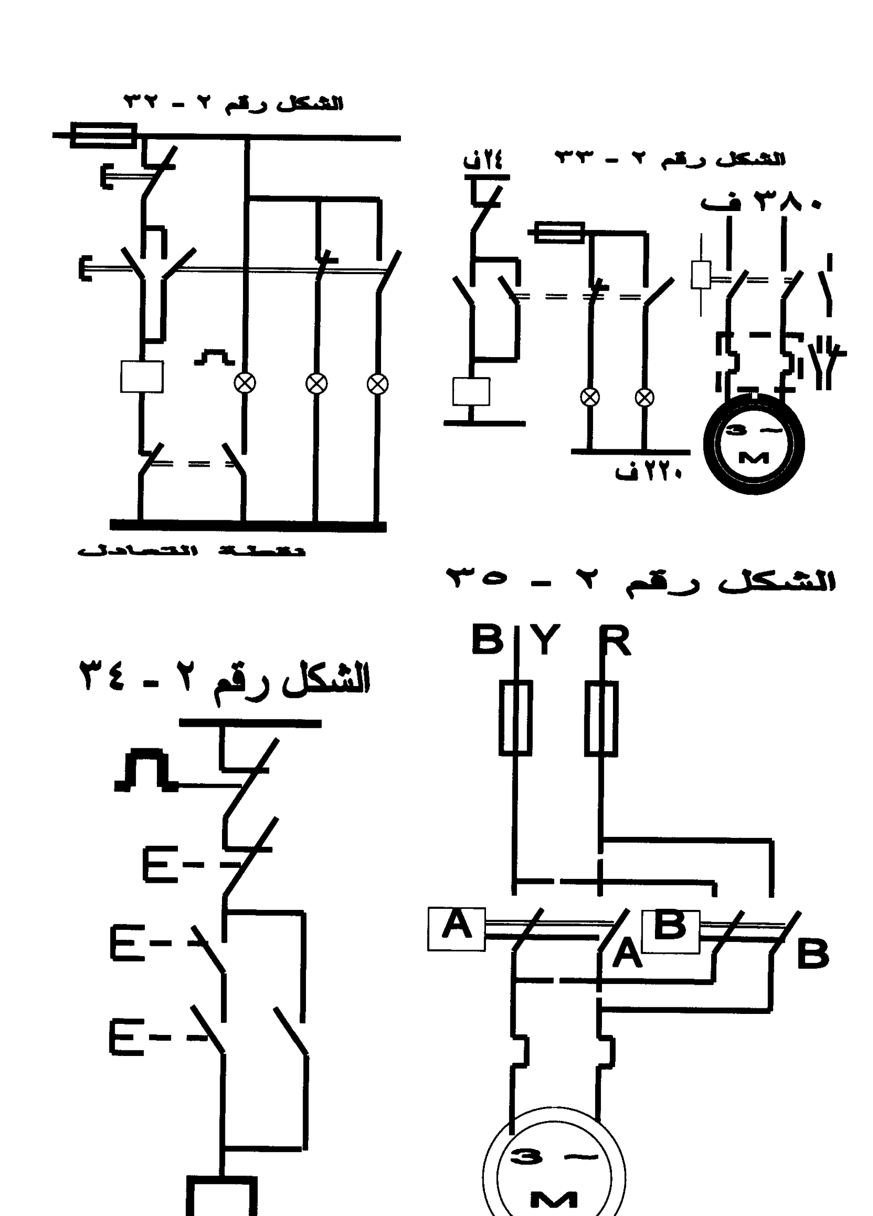


الشكل رقم ٢ - ٢٩

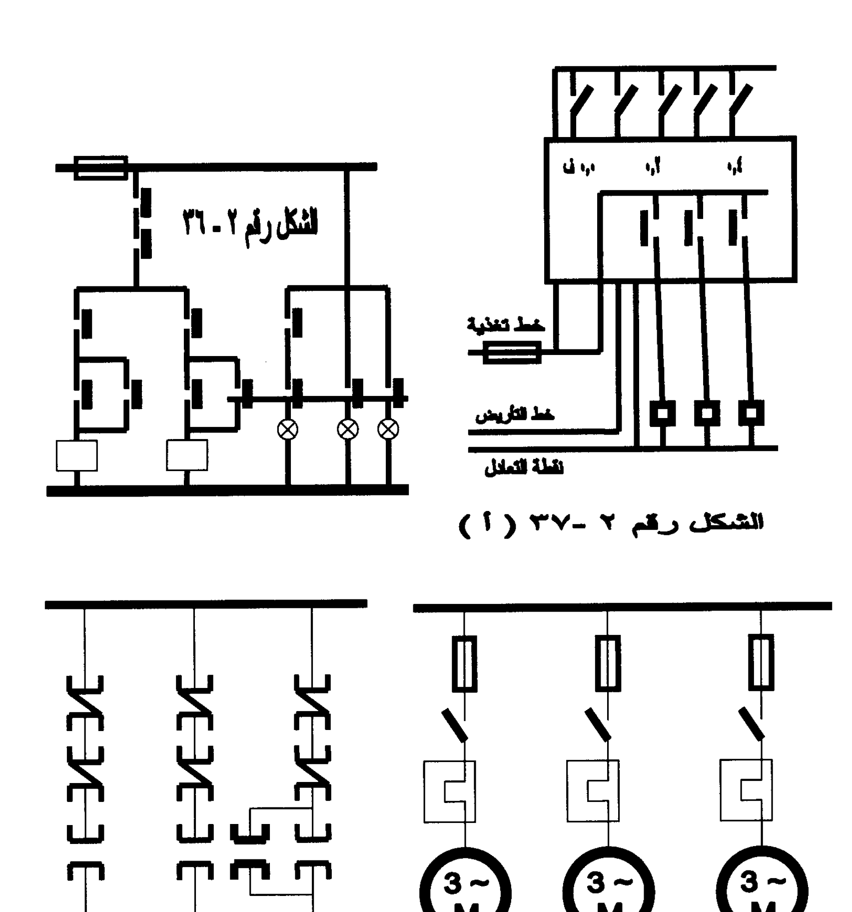


الشكل رقم ٢ - ٣١

الشكل رقم 2 - 30



الشكل رقم ٢ - ٣٢
نقطة التعادل
الشكل رقم ٢ - ٣٣
٢٤ف
٣٨٠ ف
٢٢٠ ف
3 ~
M
الشكل رقم ٢ - ٣٥
B Y R
A
A
B
B
3 ~
M
الشكل رقم ٢ - ٣٤
E-
E-
E-



الشكل رقم ٢ -٣٧ (أ)

الشكل رقم ٢ -٣٧ (ب)

الشكل رقم ٢ - ٣٨

الباب الثالث

التعويض التلقائي للقدرة الظاهرية

Reactive Power Compensation

من الضروري تعديل صفات تشغيل أحمال الشبكة الكهربية كي تتواءم مع القدرة القادمة من الشبكة الأم وهو ما قد نجده غير متوازن فيجعلنا في حاجة إلي تعديل الشكل الهندسي لعملية التشغيل ومن ثم نلجأ إلي معادلة التوازن مرة أخري لأداء الشبكة ككل وهو ما يستوجب تعويض القدرة غير الفعالة في الشبكة وتقليلها بقدر الإمكان كي لا تزيد الأحمال عن التوليد المتاح ومن هنا يحتاج التعويض التلقائي إلي المزيد من الرؤية لحالة الحمل العام اليومي والحمل الخاص المنوط به التعويض ومن ثم يلزم التوجه إلي منحنيات الأحمال كي تكتمل الدراسة الضرورية لتنفيذ التعويض بطريقة هندسية من جهة الحدود الفنية والاقتصادية وهي المعايير الأساسية اللازمة لهذا الإجراء وبهذا نعرض في الباب الحالي هذه الفكرة وقواعدها كي تكتمل الصورة والتي بدونها نحتاج إلي مساندة فنية . خصوصا وأنه يهمنا في محطات التوليد Generating Stations ومن وجهة نظر الأحمال فقط أن توضع الأحمال علي المولدات بشكل اقتصادي ثم بالشكل المحسن ، وعند الحسابات الاقتصادية تأتي المعادلات والحسابات الرياضية لإيجاد الحل الأمثل لسريان الطاقة فيتحدد بناء عليه أي الوحدات لا بد وأن تدخل الخدمة وجدول تشغيلها وفي هذه الحسابات كان يعتبر التيار ثابتا أو في أفضل الظروف تؤخذ القراءات كل فترة زمنية لدراسة السريان الأمثل للأحمال وهنا نضيف أنه من الضروري اعتبار أن التيار متغير لحظيا كما ورد في منحنيات الأحمال وهنا يكون الحل الأمثل معتمدا كليا علي منحنى الأحمال الخاص بكل معدة وهنا الحديث عن الوحدات التوليدية وبالتالي يكون القصد بأي الوحدات تأخذ الأحمال التالية وما هو توقيت دخولها وكل هذا سبق شرحه منفردا ولكننا هنا ندخل بالموضوع متداخلا مع الرسم الفردي للمحطة ولهذا يجب أن تضاف المعدات والأدوات التي تتيح لنا فرصة للتنقل بين الوحدات وأن توضع الوحدات البديلة دائما معا في قطاع واحد سواء بصورة مباشرة أو عن طريق مفتاح ربط يعمل عند الضرورة .

بنفس الأسلوب السابق تأتي أهمية الرسم الفردي بناء علي منحنيات الأحمال حيث يمكننا تحميل المحول بمجموعة من الأحمال محددة تكون في مجموعها ذات صفات جيدة وافضل الحالات التي تهم التشغيل في المحول فمثلا لا نترك أحمالا خفيفة لمدد طويلة علي المحول فنقلل التيارات المغناطيسية والفقد التابع له كما يمكننا جمع النوعيات المتباينة في معاملاتها حتى تتحسن الصورة الإجمالية لمنحنيات الأحمال فترتفع الكفاءة في تحميل المحول سواء ذلك القابع في شبكة المجمعات التعليمية أو السكنية أحيانا أو تلك التي تغذي الشبكة العمومية وهي ما تمثل محطات تحويل الطاقة Transformer Stations ، وبهذا نحتاج إلي توزيع الأحمال في صورة أفضل في جهة واحدة من المحول سواء كان المحول لخفض الجهد أو لرفعه فيكون الناتج العام هندسيا سليما وأفضل .

ما سبق يعني أن المقاطع المختلفة تنفصل أو تتصل بخلايا الربط بينها عند الاحتياج أو أن توضع هذه الأحمال والتي عندما تجمع سويا تتحسن الصورة علي مقطع واحد وتتقطع المقاطع باستخدام مفاتيح الربط المختلفة لتحسين مستوى الأداء والتشغيل في الشبكة متمثلا في المعدة التي ترتفع فيها الكفاءة وهي الآن المحول إضافة إلي توفير هذا الفقد والذي قد يتضخم في مجمله علي الشبكة كي تستغل في أحمال أخري قد نحتاجها . ويمكن أن يكون التحسين في معامل التحميل أو في معامل القدرة أو في مستوي تحميل المعدة (مولد أو محول) .

ومن الضروري التأكيد عن أن محطات الربط والتي قد تكون محطات محولات أو مجرد محطة مفاتيح كهربية للربط بين الدول بما تحتويه أيضا من عدادات للقراءات كي تتم المحاسبة المالية بناء علي ذلك

تدخل في هذا المجال بحيث أن هذه المحطات تتبع عملية تحسين منحني الأحمال الكلي نتيجة التبـــاين في الأحمال إضافة إلي الفرق الزمني الذي يتيح الفرصة لتحسين خواص منحني الأحمال الكلي وبهذا توضع هذه المحطات داخل المنظومة الخاصة بتحسين معاملات منحني الأحمال .

٣-١: أهمية توزيع الأحمال Distribution Importance of Loads

يخضع توزيع الأحمال لمعايير هندسية في محاور رئيسية هي :

المحور الأول : اتزان الأحمال علي الأوجه Load Balance on Phases

تحتاج الشبكة الكهربائية أثناء التشغيل إلي أن تكون متزنة ومستقرة طوال الوقت ولكن عملية توزيـــع الأحمال علي الأطوار وبينهم البعض تدخل في نطاق عدم الاكتراث وعدم الاهتمام أحيانا فينعكس علي اتزان الشبكة ، ومن هنا نري التعرض إلي النوعين الأساسيين المسببين للمشكلة هذه في إيجاز مـــن منطلق توزيع الأحمال علي الأطوار Distribution Between Phases وينقسم هذا المبدأ إلـــي نـــوعين حسب الأطوار كما يلي :

١ - ثلاثي الطور Three Phase

نحتاج إلي تماثل الأحمال لحظيا علي الأوجه الثلاث حيث نحصل علي توازن مســـتمر إلا أنـــه فـــي شبكات التوزيع حيث المستهلكين نجد أن هذه الأحمال لا يمكن أن تتماثل مما يدعونا إلي التوجه نحـــو تعديل الانحراف في التماثل حتى نحصل علي قدرات متماثلة وكي تتقل علي نفس المنوال ولهذا نجد أن عدم التماثل بين الأوجه الثلاث يؤدي إلي خللا ما في نقطة التعادل وفي توزيع الأحمـــال كهربيـــا وميكانيكيا علي المعدات الداخلة في إطار هذه المشكلة (شكل٣-١) ، ولهذا يمكن التعامل مع منحنيات الأحمال للتخلص من عدم التماثل بوضع الأحمال غير المتماثلة معا بشكل يساعد علي تماثلهم بقـــدر الإمكان وتعتبر هذه الطريقة من الطرق السهلة البسيطة وغير المكلفة للتوصل إلي الشكل المتماثل في الأحمال علي الشبكة .

٢ - أحادي الطور Single Phase

تكمن مشكلة عدم التماثل بين الأوجه الثلاث في التوزيع الحملي علي الطور الواحد حيث نجـــد أحـــد الأطوار قد تحمل أكثر من غيره بالكثير وهذا بدوره ينتقل إلي الأحمال ثلاثية الطور مما يزيـــد مـــن المشكلة ولهذا يمكن دراسة الأحمال الفردية علي الطور الواحد كل علي حدة كي يـــتم نقـــل بعـــض الأحمال من الطور إلي غيرة وصولا إلي التماثل المنشود بين الأطوار جميعا . وهذا أمرا سهلا إذا ما أخذ في الإعتبار منذ البداية في تصميم الشبكات داخل القطاعات الصغيرة مثـــل الأبنيـــة والمصـــانع الصغيرة والمكاتب التجارية وغيرهم

المحور الثاني : تقليل الفاقد الظاهري Reduction of Reactive Effect

ويمكن تحقيق هذا إما عن طريق تحسين معامل القدرة أو بأسلوب التعـــويض للقـــدرة الظاهريـــة ، وبالنسبة إلي تحسين معامل القدرة Improvement of P. F تأتي عملية توزيع الأحمال علي الوحـــدات العاملة والمحولات المتواجدة بالخدمة كي تكون كل مجموعة متوازنة في معامل القدرة وهو ما يعنـــي أهمية توزيع الأحمال بين النوعيات المختلفة في معاملات القدرة وليس بالشكل المتوسط بل اللحظـــي فيجب أن تتوازن الأحمال عند جمعها علي القضبان الكهربائية في بداية كل محطة ومن ثم توزيعهـــا أيضا بنفس الأسلوب وصولا إلي أعلي قيمة لمعامل القدرة ومن ثم أقل قدرات ضائعة وهو الأمر الذي يعتمد علي قانون كيرشوف لمجموع التيارات عند نقطة التوصيل حيث يلزم أن تكون التيارات فـــي مجموعها ذات معامل قدرة عال وبذلك يكون مجموع التيارات التي تعطي معامل قدرة مرتفع تتجمـــع سويا علي القضبان أو تغذي محول أو حتي يتم تغذيتها من الوحدة الأصلية في المحطات المختلفة .

وإذا ما اتبع هذا الأسلوب فنحصل علي أفضل استغلال ولكن الحالة المثلي هي حالة الرنين resonance حيث يتم تعويض القدرة الظاهرية الحثية بأخري سعوية كي تتزنا سويا ونحصل علي الرنين وهو مـــا يمكـــن أن يتـــم بحالتيـــن وهمـــا(أ) توصيـــل المكثـــف علـــي التوالي في الدائرة فيكـــون الـــرنين

توالي series resonance وهي الحالة التي تأتي بالتوافقيات الثانيـــة second harmonics فـــي الشـــبكة اضافة إلي التكلفة العالية لمثل هذه المكثفات .

(ب) يتم تركيب المكثفات علي التوازي لنحصل أيضا علي الرنين التوازي parallel resonance وهـــو الأسهل عموما كما تم الشرح مسبقا مما يتيح الفرصة للفصل أو التوصيل حسب الأحوال ولهذا نجـــد النوع الأخير هو الأكثر شيوعا في الاستخدام ، ويمكننا وضع العلاقة الرياضية الخاصـــة بـــالتعويض الأمثل للطاقة الظاهرية في الشبكة الكهربائية بشقين حيث في الشق الأول وهـــو الجزء الـــذي يخـــص المستهلك أي في شبكة التوزيع فنري في الشكل ٣-٢ الدائرة المكافئة لشبكة التوزيع في صورة عامة سواء كانت الشبكة وحيدة المغذي أو متعددة المغذيات r والمغذي رقم (I) يشمل (n_i) محول عند كـــل قضيب كهربي node والرقيم (J) وبالتالي نحصل علي القدرة الظاهرية للمكثفات المطلوبـــة بالشـــبكة بالمعادلة :

$$Q_{ct} = . \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{n_i} Q_{cij} \qquad (3\text{-}1)$$

وبمعرفة جهد القضبان وبفرض ثبات ثمن المكثفات والفقد فيهم وبناء علي طريقة لاجرانج للمعاملات غير المحددة نحصل علي الطاقة المفقودة بالشبكة بدلالة معامل لاجرانج L في الصورة :

$$\begin{pmatrix} R_{1j} & R_{1j} & R_{1j} & R_{1j} & Q_{ij} \\ R_{1j} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & Q_{ij} \\ R_{1j} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & Q_{ij} \\ R_{1j} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & \Sigma R_{ij} & Q_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma\Sigma R_{ij} \\ \Sigma\Sigma R_{ij} \\ \Sigma\Sigma R_{ij} \\ \Sigma\Sigma R_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{sj} - LV_o^2 /2t \\ Q_{sj} - LV_o^2 /2t \\ Q_{sj} - LV_o^2 /2t \\ Q_{sj} - LV_o^2 /2t \end{pmatrix} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث أن القيمة (R_{ij}) تعني الفقد عند النقطة (i) والمغذي رقم (j) ومن ثم نضع الفرض الآتي للطاقـــة الظاهرية وهو :

$$Q_{dij} \;\; Q_{ij} - Q_{cij} \quad , \quad g_j = R_1 (\Sigma \; Q_{ij} - Q_{cij}) \qquad (3\text{-}3)$$

وبناء علي ذلك نبدأ في الحل للمعادلات السابقة بالصورة

$$\begin{pmatrix} R_{1j} & R_{1j} & R_{1j} & R_{1j} \\ 0 & R_{2j} & R_{2j} & R_{2j} \\ . & . & . & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & R_{mj} \\ & & & \vdots \\ 0 & 0_{ij} & 0 & R_{nj} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_{d1j} \\ Q_{d2j} \\ . \\ Q_{dmj} \\ \\ Q_{dnj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_j \\ 0 \\ . \\ 0 \\ \\ 0 \end{pmatrix} \qquad (3\text{-}4)$$

بتقليل عدد المتغيرات في مجموعة المعادلات تتابعا وحتى تصبح قيمة (Q_{cmj}) عند النقطـــة (m) ذات قيمة موجبة وبالتالي تتحول كل القيم السالبة إلي صفرا ونحصل علي المعادلة

$$(2t/V_o^2) = \Sigma\ \Sigma\ R_{ij}\, Q_{sj} > 0 \tag{3-5}$$

بينما يتحدد معامل لاجرانج في هذه الحالة من خلال الصيغة :

$$L_j = (2t/V_o^2)(\Sigma\ \Sigma\ R_i\ Q_{sj} - Q_{ctj}\ \ \Sigma\ R_{ij}) \tag{3-6}$$

وبالتالي نحصل علي قيمة الفقد في الطاقة M بالمعادلة

$$M = (t/V_o^2)\ \Sigma\Sigma R_{ij}\ [\Sigma\,(Q_{is} - Q_{cis})] + [\Sigma\ \Sigma\,(Q_{cij} - Q_{ct})]L \tag{3-7}$$

وهكذا نصل إلي المعامل g بالشكل :

$$g = [\Sigma\ \Sigma(Q_{ij} - Q_{ct})] / [\Sigma\,(1/R_{i1})] \tag{3-8}$$

وبعد هذه العمليات الرياضية نبغي التوصل إلي الحدود الاقتصادية لتركيب المكثفات علي جهد التوزيع وهو ٣٨٠ ف فنعرف جيدا أن معادلة التكلفة الاقتصادية تتبع الصورة :

$$\text{Cost} = (a + d)\,K + e\,(E + E_c) \tag{3-9}$$

حيث نجد الرموز الواردة وهي (a) تعبرعن معامل الكفاءة ، (d) تعني الصيانة والزيادة الاقتصـــادية depreciation، (K) تعني تكلفة كلية للمكثفات جميعا، (e) تساوي سعرالطاقة المفقودة بينما (E_c and E) تشير إلي الطاقة المفقودة في المكثفات وفي الشبكة علي التوالي ، وبهذا نجد التكلفة هي :

$$F = u\ \Sigma\ Q_{ci} + H\Sigma q_{ci} + (et/V_o^2)\,[\Sigma r_i\,(Q_i - q_{ci})^2 + \Sigma\ R_i\,\{\Sigma\,(Q_s - Q_{cs} - q_{cs})\}^2] \tag{3-10}$$

حيث نجد المعامل H يتبع المعادلة :

$$H = (a+d)K_o \tag{3-11}$$

ويشير الرمز p' إلي القدرة النوعية المفقودة في المكثفات ذات الجهـد ٣٨٠ ف واختصـارا لهـذه الحسابات التالية نضع النتائج لها في شكل منحني لتوضيح هذه العملية الرياضية ومدي دقتها في تحديد الحدود الاقتصادية لتركيب المكثفات علي الجهد ٣٨٠ ف أم ١١ ك. ف (الشكل رقم ٣-٣) .

هذا يعود إلي أهمية تحسين معامل القدرة لطرفي العملية الاقتصادية وهما المستهلك وشركات الكهرباء أما بالنسبة لشركات الكهرباء فتستفيد بالمزايا العديدة ومنها التالية :

١- زيادة القدرة الخدمية المتاحة للمحطات والمعدات

٢- تحسين أداء الشبكة .

٣- تقليل الفاقد الفني بالشبكة .

٤- إتاحة الفرصة لمشتركين جدد ومصانع حديثة بنفس الطاقة الموجودة .

أما المستهلك فيحصل علي المزايا الآتية :

١- التخلص من الغرامة المالية وخصوصا بالنسبة لكبار المشتركين .

٢- إطالة عمر الأجهزة والأدوات والمعدات الكهربائية .

٣- تحسين أداء الأجهزة وهو ما نوضحه في البند التالي .

وجدير بالذكر أن منحنيات الأحمال تتغير باستمرار فيكون فيها تغيـرا متلازمـا للطاقـة الظاهريـة للمكثفات ولذلك يتم تركيب هذه المكثفات في مجموعات يتم توصيلها وفصلها تبعا لمنحني الأحمال وقد يكون ذلك يدويا أو آليا بل واليوم يتم برمجتها بالحاسب الآلي لتحدد فيها أوقات الفصـل أو أحمـال الفصل تبعا لمنحني الأحمال الفعلي حتى لا تنعكس الآية وتصبح ضارة بالعزل الكهربي إذا زادت قدرة المكثفات عن الحدود المسموحة .

المحور الثالث : رفع كفاءة تشغيل المهمات Increase of Equipment Efficiency

تختص هذه الفقرة بالمولدات والمحولات من حيث أنها تتصف بشكل عام في علاقة الكفاءة لها تشغيلا مع الحمل الواقع عليها أو الذي يمر بها وهنا تظهر أهمية توزيع الأحمال حيث يجب أن تتحمل هـذه المعدات بقدر الإمكان بالحمل الذي يزيد من قيمة الكفاءة فمثلا المحول ترتفع كفاءة إنتاج الطاقة عند الأحمال ما يقل قليلا عن الحمـل المقنن بينما تقل هذه الكفاءة جدا عند الأحمال الخفيفة ولهذا يلزمنا أن

نعمل علي أن تتحمل المحولات بنسبة عالية من الحمل علي الدوام مع الابتعاد عن الأحمال الخفيفة والمسببة لإظهار الفاقد بنسبة أكبر عن التحميل أحيانا فتقل الكفاءة بشدة .
هذا يأتي مباشرة بالنسبة إلي شبكة النقل الكهربي وهي التي تخص شركات الكهرباء دون المستهلك ويكون التعويض للطاقة الظاهرية فيها جوهريا ويقع العبء كله علي الشركات ذاتها فنجد علي سبيل المثال الدائرة المكافئة للشبكة في هذه الحالات المحددة بالشكل رقم ٣-٤ ، حيث تظهر العملية التعويضية من أجل تحسين معامل القدرة بناء علي الأحمال المتواجدة سواء كان هذا التعويض مباشرا أو غير ذلك بما فيها من توزيع القدرة علي جهات أم تركيزها في منطقة واحدة .
وبناء علي هذه الدوائر يمكننا التعامل مع الشبكة ككل في صورة مختصرة ونحصل علي التكلفة الاقتصادية لوضع مكثفات لتحسين أداء المهمات العاملة فيها أو عند أطرافها ولذلك نجد الشكل العام للعلاقة بين تكلفة هذه المكثفات وقيمة القدرة الكلية للمكثفات المطلوبة قد جاءت في الشكل رقم ٣-٥ حيث وضعت العلاقة بين القدرة الفعالة والظاهرية للحمل في الاعتبار وتأخذ التكلفة الكلية الصيغة الرياضية :

$$F = A_1 (V_o)\ Q_{ct}^2 + B_1 (V_o)\ Q_{ct} + C_1 (V_o) \qquad (3\text{-}12)$$

كما أن القدرة الكلية للحمل توضع في الصورة الرياضية :

$$P_l + j\,Q_l = [A_2 (V_o) + jA_3(V_o)]Q_{ct}^2 + [B_2 (V_o) + j\,B_3 (V_o)]\ Q_{ct} + [C_2 (V_o) + jC_3 (V_o)] \qquad (3\text{-}13)$$

وجدير بالذكر أن الجهد يتغير تلقائيا ولذلك فان التغير في قيمته وهو ما يعني الانحراف بالقيمة للجهد V_dوهو ما يعني الزحزحة في القيمة عن المقنن V_n وهي قيمة تتغير بصفة دائمة تبعا لتغير منحني الأحمال ومن ثم تكون ضرورية عند دراسة منحني الأحمال أو التوزيع الاقتصادي للأحمال بالشبكة وهذا الانحراف هو :

$$V_d = (V_o - V_n) / V_n \qquad (3\text{-}14)$$

يقدم الشكل ٣-٦ المعاملات الموجودة في المعادلات ٣- ١٢، ٣-١٣ بينما نجد التغير في الانحراف قد جاء في الشكل رقم ٣-٧ ، ونجد أن معامل الانحراف deviation coefficient لكل المعاملات الموجودة بالمعادلتين السابقتين بقيمة متوسطة قد جدولت في الجدول رقم ٣- 1 وذلك باستخدام طريقة المربعات الصغرى minimum quadratic method حيث أن المعامل المتوسط للانحراف mean deviation في هذه القيم يشير إلي مدي العلاقة التي جاءت في الشكل رقم ٣-٧ وقد قدم الشكل الانحراف في قيمة كل من التكلفة dF والقدرة للحمل سواء الفعالة dP_L أو الظاهرية dQ_L ويبين من الشكل أن التغير بين القدرة الكلية للمكثفات بوحدات م. ف. أ. ر. لتحسين معامل القدرة وبالتالي مستوي الأداء وبين القدرة الفعالة للحمل يأخذ التغير الخطي .

جدول رقم ٣-١ : الانحراف المتوسط في القيم المحسوبة للمعاملات المختلفة الواردة في المعادلتين السابقتين

المعامل	A_1 ($١٠^{-٣}$)	A_2 ($١٠^{-٥}$)	A_3 ($١٠^{-٣}$)	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3
الانحراف المتوسط	١,٣	٧	٠,٦٤	٠,٥٦	٠,١١	٠,٠٨	٢,٧	٠,٤	٢,٩

مما سبق نجد أن العلاقة مباشرة أيضا بين تحسين معامل القدرة والتوزيع الأمثل لسريان القدرة في الشبكة خصوصا مع وضع التغير في شكل منحني الأحمال داخل دائرة الاهتمام وفي الحسابات ككل وهذا يظهر بشدة عندما يتم توصيل مكثفات لتحسين الأداء وتتغير الأحمال كما ظهر من قبل فتنتج مشاكل فنية أخري إذا لم ندخل هذا التغير في الاعتبار .

المحور الرابع: الأحمال التوافقية Harmonic Loads

تظهر الأحمال التوافقية والتي عادة ما تكون ضارة بتشغيل الشبكة مع ظهور الأحمال والمكونات غير الخطية الكهربائية ، هذا يجعلنا نضع هذا الموضوع في صورة متعددة الاتجاهات لتحديد كل المعاني الشاملة له فالأحمال التوافقية لم توضع بعين الاهتمام في دراسة الأحمال الكهربائية بينما تأخذ كل العناية في مجالات عديدة مثل دوائر الوقاية ودوائر التحكم الآلي ، علاوة علي أنها تظهر في دوائر التشغيل مما يلزم معه التعبير عن الموضوع في هذا المحور واستكمال الصورة لمخاطر ومساوئ تواجدها أثناء التشغيل .

وبالرغم من أنها بكافة درجاتها ذات قيمة متضائلة إلا أن العائد عن تواجدها يعطي الكثير من الأضرار فقد تظهر هذه الأحمال ذات الموجات التوافقية في دوائر بها خطأ وحينئذ تعمل الأجهزة مشيرة إلي قراءة قد تبتعد قليلا عن الواقع لهذا السبب ، مع العلم بأن الفارق قد لا يكون كبيرا إلا أنه يبعد التحليلات الهندسية عن الدقة اللازم توافرها للعناية بالشبكة ككل ، ولا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل يصل لكل المجالات في إطار الشبكة الموحدة. من هنا علينا الدخول مع موضع الأحمال التوافقية بشكل عام ومجمل علي النحو الذي نفرد له الجزء التالي من هذا الباب.

أولا : أسباب الموجات التوافقية Reasons

هناك العديد من الأسباب التي تساعد علي وجود الحمل التوافقي وهي تأخذ طابعين هما اما تشويه في الموجة الجيبية الخاصة بالشبكة بذبذبة ٥٠ هيرتز أو توليد لهذه الموجات التوافقية وهو ما نستطيع فهمه مما يلي من أسباب :

(أ) مكونات الشبكة components

تتكون الشبكات من العديد من المهمات والمساعدات ففيها يكمن الخطر القادم من الموجات التوافقية ومنها ما يقوم بتوليدها في الشبكة ومنها أيضا ما يتعرض للإجهاد والدمار من جراء هذه الأحمال .

١ - المكثفات التعويضية علي التوالي Series Condensers

يستعان بالمكثفات التعويضية ذات الطابع بالتوصيل علي التوالي في حالتين بشكل عام مثل بداية عند أطراف محطات التوليد أو في منتصف الخطوط طويلة المسافة كمحطة تعويض لتعديل الخواص إلا أنه مع المكثفات التوالي تظهر الموجات التوافقية الثنائية (2nd harmonic) خصوصا وأنها ذات تأثير أكبر علي تشغيل الشبكة أو تحديد الشكل الموجي للذبذبة .

٢ - محولات القدرة Power Transformers

نتيجة للتواجد المغناطيسي والفيض المغناطيسي غير الخطي تظهر المركبة الثالثة (3rd harmonic) وهي أكثر النوعيات شيوعا في بالشبكات ولهذا يجنب تجنب تشغيل المحولات علي الأحمال الخفيفة (light loads) لارتفاع نسبة تواجد التيارات غير الخطية في المحول مما يزيد معه تأثير عدم الخطية وتظهر المركبة الثالثة التوافقية وهو أمر غير مرغوب فيه وتضاف حالة ترك المحول بلا أحمال (no load) وهي عاملة بالشبكة .

٣ - ملفات التعويض بنهاية خطوط النقل Reactors

يرجع موضوع تأثير الملفات المتواجدة عند نهايات الخطوط الطويلة وتوليدها للموجات التوافقية لتواجد ظاهرة التشبع (saturation) في الشكل العام للفيض المغناطيسي وبذلك يلزم التعامل مع هذه العناصر بأهمية بالغة للتخلص من هذه الموجات التوافقية مثل ما يحدث بالنسبة للمحولات كما ذكر عالية.

(ب) الحالات الانتقالية Transient Conditions

تعتبر الحالات الانتقالية من المسببات لتواجد الموجات التوافقية لأنها تشوه الشكل الموجي فينتأ عنه تلك الموجات التوافقية ففي الحالات الانتقالية تظهر ارتفاعات مفاجئة في مقدمة الموجة أو التيار أو الجهد

حسب الأحوال مما يخرج الشكل إلي الشكل النبضي وهو ما يحتوي علي العديد من الموجات التوافقية بما فيهم الثالثة وتأتي هذه الحالات إما تبعا للتشغيل المعتاد أو الخاطئ أو لوجود عيوب متراكمة في المهمات داخل الشبكة.

(ج) الأحمال غير الخطية Nonlinear Loads

تظهر بعض الأحمال بخواص خاصة جدا ومنها تلك ذات الخواص غير الخطية وهذه الأحمال تتسبب في ظهور التشويه للموجات وهو ما يعني ظهور الموجات التوافقية ويمكن أن تتواجد هذه الأحمال في الكثير من التطبيقات مثل أفران الحديد والصلب والدرفلة وفي الدوائر الإلكترونية وفي بعض المصابيح الكهربائية مثل الفلورسنت والخانق به وغيرهم من الأحمال .

ثانيا : مواقع الموجات التوافقية Locations

من الطبيعي أن تنحصر مواقع الموجات التوافقية في الدوائر المغلقة عليها في الشبكة فمثلا المركبة الصفرية الثابتة تظهر في الدوائر المؤرضة سويا أي تأريض جهتين بعينهما دون البقية من الدوائر المتلاصقة وهو الأمر المتبع في عزل التيارات الصفرية في الشبكات وهو ما يقلل من تيارات القصر بصورة ملموسة ، لتكون دوارة بها هذه النوعية من التيارات التوافقية أو هنا الصفرية وبالمثل نجد أن الموجات التوافقية تدخل في دوائر مغلقة وغيرها من المسببات للظاهرة غير الخطية في نقطتين أساسيتين:

(أ) الملفات ذات التوصيل دلتا Coils in Delta

حيث تعزل هذه الملفات هذه الموجات بداخلها غير أنه تؤثر علي ذات الملفات ولذلك يتم التصميم بناء علي هذا التواجد ومن ثم تتحمل هذه الملفات عبء تخليص الشبكة من الموجات التوافقية وهذا ما يحدث مع المحولات ذات الثلاث ملفات ويستفاد منها في تغذية أحمال خارج الشبكة الرئيسية مباشرة .

(ب) الخطوط الكهربائية بتواجد الكورونا Corona presence

حيث خطوط الجهد العالي والفائق والعاملة بجانب تواجد ظاهرة الكورونا وما تسببه من فقد آخر في الطاقة الكلية المتاحة وما تظهره هذه الظاهرة من إيجابيات في حالات أخري ، غير أن أكثر العيوب عنها هي تشويه الموجة الجيبية فتظهر الموجات التوافقية تلقائيا وبذلك تصبح منبعا لها .

ثالثا : السيطرة علي الموجات التوافقية Control

نحتاج إلي أسلوب علمي للتحكم في هذه الموجات وإخراجها من دائرة التشغيل بقدر الإمكان وقد لا نتمكن من ذلك في كل الأوقات ومع ذلك يلزم أن نزيد من رقعة التحكم في هذه الموجات الضارة ويتم ذلك من خلال القنوات العلمية التالية :

(أ) الإخماد damping

حيث تتوجه الدائرة مباشرة إلي أسلوب محاولة إخماد الموجات التوافقية بسرعة فتتوقف عن التزايد أو الظهور أو تقل فترة تواجدها وهو أمر هام ويتأسس عليه الكثير من الأعمال الكهربائية داخل إطار الشبكة الكهربائية .

(ب) العزل isolation

يتم هذا الأسلوب كما سبق بيانه من قبل بحيث يتم عزل المنطقة أو الدائرة أو خلق دائرة خصيصا لها بحيث لا تتداخل مع غيرها من الدوائر ذات الصلة أو الاتصال مها .

وبالرغم من تلك الأسس العلمية والمتنوعة وتطبيقاتها المنتشرة إلا أنه كان من الأفضل العمل علي عدم ظهور مثل هذه الأحمال التوافقية من الأساس.

رابعا : الطاقة المفقودة في الأحمال التوافقية Harmonic Energy Loss

الأحمال التوافقية غير ضارة بتشغيل الشبكة بقدر ما تمثله من عبء علي الأحمال الكلية فيها حيث أنها تمتص جزءا من الطاقة مما يتسبب عنه فقدا جديدا في الطاقة الكلية كما يظهر من المعادلة :

طاقة إجمالية= الطاقة المستغلة + الطاقة التوافقية + الطاقة الظاهرية + الطاقة الضائعة + الطاقة المفقودة (٣-١٥)

وتظهر هذه المركبات المختلفة في المعادلة كما وردت علي (الشكل رقم ٣- ٨) ونجد أن الطاقة المفقودة تنقسم إلي نوعين كما هي محددة في المعادلة :

الطاقة المفقودة = الطاقة المفقودة فنيا + الطاقة المفقودة الاجتماعية (٣-١٦)

أما الطاقة المفقودة الفنية فيمكننا وضعها بالتعبير الرياضي :

الطاقة المفقودة الفنية = الطاقة الفعالة فنيا (I^2RH)+الطاقة الظاهرية (I^2XH)+الطاقة التوافقية($I_hVH\Sigma$) (٣-١٧)

مما نراه في المعادلة الأخيرة يتضح أن الطاقة التوافقية يجب أن تضاف إلي مجموع الطاقات المفقودة بل ويلزم إدخالها في الحسبان في كل التحليلات الرياضية . ومادام الحديث عن الطاقة فنشير إلي ما يسمي منحني الكتلة (mass curve) وهو يمثل الطاقة بالميجاوات ساعة مع عدد الساعات اليومية (الشكل رقم ٣- ٩) وهي الطاقة المستهلكة يوميا حتى قيمة الحمل لحظة التحديد وهو نافع جدا للمحطات المائية من أجل قياس معدل سريان الماء rate of water flow لإيجاد التخزين المطلوب ، بينما منحنيَ التحميل بالنسبة للطاقة في شكل قطع زائد (الشكل رقم ٣- ١٠) حيث يتحدد منه قيمة الحمل المتوسط والتي نراها علي الرسم عندما يلتقي المماس للمنحني مع الخط الرأسي عند نهاية الأربعة والعشرين ساعة ، وهو منحني هام لمحطات التوليد المائية من أجل تحديد الطاقة بين مستويين مختلفين للحمل ويسمي منحني الطاقة مع الحمل (energy load curve) كما أنه هناك من المعاملات المختلفة المتفق عليها في هذا المجال وهي ما نوردها في نهاية هذا الباب لتكون محددة لها وفي متناول القارئ ونوردها علي الوجه الآتي :

١- القدرة المحجوزة Firm Power

وهي تعني القدرة المحددة للمصنع أو المشترك ومحجوزة له سواء بدأ المصنع في استهلاك الطاقة أم لا ولا يمكن استعمال هذه الطاقة أو القدرة في أي مكان آخر أو لأي عميل ثان وحتى في أوقات الطوارئ .

٢- المخزون البارد Cold Reserve

هي تلك القدرة المتاحة ولكن هذه القدرة ليست عاملة علي الشبكة ولا نستطيع الانتفاع بها إلا بعد التوصيل للشبكة ، أي أن المولد جاهز للدخول علي الشبكة بهذه القدرة .

٣- المخزون الساخن Hot Reserve

هي تلك القدرة المتاحة من الوحدة لتغذية الشبكة ولكنها غير محملة بها فهي قابعة لحين الحاجة إليها وبالتالي تستطيع العمل وتغذية الحمل مباشرة وتلقائيا بعد توصيلها مع القضبان في الشبكة .

٤- المخزون الجاهز Spiring Reserve

هي تلك القدرة المولدة والمتصلة بالقضبان وجاهزة للتغذية فورا .

٥- الحمل الموصل Connected Load

وهو الحمل الموصل علي الشبكة فعلا .

وأيضا نجد معاملا يستخدم أحيانا في بعض المراجع وهو ما يسمي معامل الانتقال Transition Factor ويتم التعبير عنه بالصيغة :

Transition Factor = (All Energy – base energy – peak energy) / Total energy (3-18)

وكل هذه الأجزاء قد سبق التعرض لها تفصيلا ولذلك يجب مراعاة الاعتبارات العامة الضرورية ودراستها بعناية تامة عند التعامل مع موضوع التعويض للقدرة غير الفعالة (الظاهرية) وهي :

١) التأكد من أن مقنن الكيلو فار للمكثف هو المقنن المناسب بحيث لا يتسبب في رفع معامل القدرة عن الحد المطلوب .

٢) التأكد من أن المكثف لن يتسبب في حدوث تجاوز في الجهد غير مسموح به أثناء فترات الأحمال الخفيفة .
٣) التأكد من أن المكثفات سوف تتحمل أي تجاوز في الجهد أو التيار دون أن يؤثر ذلك عليها أو باقي مكونات الشبكة .
٤) دراسة طبيعة الأحمال الموصل عليها المكثف و طريقة تفاعلها مع الشبكة ومع المكثف .
٥) مدى إمكانية إنتاج الحمل هذة الموجات التوافقية للتيار والجهد و الآثار المترتبة علي ذلك .
٦) احتمالات رنين بين المكثف والحمل أو الشبكة علي إحد الموجات التوافقية المتولدة من الحمل.
٧) التأكد من التوافق التام بين مقنن المكثف وخواص أداء وحدة التحكم والتوصيل وبين أداء الأحمال وخاصة الأحمال ذات الأداء الشاذ التي تتميز بالتغيرات الحادة أو السريعة أو المتقطعة مثل الأفران بأنواعها و آلات اللحام ودرفلة المعادن والأجهزة العاملة علي القوس الكهربي وغيرها .
٨) دراسة الظواهر المصاحبة لعمليات توصيل وفصل المكثفات علي النحو المبين فيما سبق.
٩) التأكد من عدم تجاوز حدود الجهود الزائدة الداخلية عن المقنن للقواطع في الشبكة .

٣-٢: مكثفات التعويض Compensating Capacitors

نتناول التعويض في الشبكات عموما ومع المحركات خصوصا من خلال مكثفات لتعويض القدرة الظاهرية وهي غير الفعالة كي يقترب معامل القدرة من الوحدة وهو ما نضعه في التحليل التالي .

أولا: مكثفات التوازي Parallel Capacitors

يتم تنفيذ عمليات فصل وتوصيل المكثفات أتوماتيكيا في المنشآت والمدارس الصناعية بهدف تحقيق العديد من خواص الأداء المطلوب مع تجنب أو الحد من أثر الظواهر الضارة أو غير المرغوبة وتظهر معوضات القدرة الردية (Static VAR Compensators) وهي عبارة عن مصادر للتغذية بالقدرة الردية (مكثفات ومحاثات) حيث تعمل معا تبعا لنظام تحكم سريع في توقيت الفصل والتوصيل بحيث يمكنها إمداد الشبكة بما تحتاج إلية من قدرة ردية سعوية أو تأثيرية ، ويتم هذا بصورة لحظية في حدود نصف دورة فقط من دورات التيار المتردد وذلك عن طريق استخدام مفاتيح من الثايرستور thyristor وتزداد أهمية هذا مع الأحمال الشاذة التي تتميز بخواص تغير حادة وسريعة و متقطعة بهدف تحسين معامل قدرتها بحيث تعمل تلك المعوضات بصورة لحظية و بتوافق تام مع تغيرات الحمل ويتم هذا علي الأسس التالية :

١) تجنب تجاوزات الجهد في فترات الأحمال الخفيفة لأن المكثف يرفع الجهد بنفس المقدار بصرف النظر عن قيمة الحمل لان المكثف اللازم لرفع الجهد إلي قيمة معينة عند التشغيل علي الحمل الكامل قد يتسبب في تجاوز الجهد في فترات الأحمال الخفيفة وخاصة إذا كانت المفاعلة التأثيرية للشبكة عالية مما يصبح معه وجود المكثف خطرا علي الجهد في حالة الأحمال الخفيفة أيضا . لذلك نحتاج إلي تنظيم الجهد المطلوب وضبط قيمة الجهد عن طريق توصيل وفصل المكثفات علي خطوات تبعا لتغيرات قيمة الجهد نفسه ورغم أن الجهد لا يتغير بصورة ناعمة smooth بالدرجة الكافية إلا أن هذه الطريقة مقبولة في أغلب التطبيقات العملية لانخفاض تكاليفها .

٢) تجنب العمل علي معامل قدرة متقدم ذلك إن عمل الأحمال الصناعية علي معامل قدرة متقدم أمر غير مرغوب فيه سواء من وجهة نظر شبكة التغذية أو من وجهة نظر أداء وجهة نظر شبكة المنشأة الصناعية نفسها او الورش المدرسية الانتاجية لأن معامل القدرة المتقدم يسبب زيادة الفاقد وعدم استقرار المولدات العامة و الخاصة وعلي ذلك فأنة يجب فصل المكثفات غير الضرورية آليا بمجرد عدم الحاجة إليها وتستخدم عدة طرق للفصل والتوصيل التلقائي والتي تعمل علي أساس الإحساس بكميات مختلفة كما يلي :

١) مفاتيح زمنية تعمل تبعا لخطة زمنية معينة بصرف النظر عن طبيعة ومقدار الحمل .

٢) مفاتيح تعمل علي طريقة الإحساس بجهد النقطة الموصلة عليها وتقوم المفاتيح بفصل المكثف عند ارتفاع الجهد بقيمة معينة وتوصيله عندما ينخفض الجهد عن قيمة محددة سلفا تلقائيا .

٣) مفاتيح تعمل علي طريق الإحساس بالتيار فقط ويكون أساسا للقياس عندما يصعب التعامل مع الجهد مما يستوجب نسبة عالية بين أقصى وأدني تيار بحيث ألا تقل النسبة عن ٣ وهنا يضاف متمم زمني لتأخير عمل الفصل مع التيارات العالية عند البدء مثل تيارات المحركات .

٤) قواطع تعمل مع القدرة الظاهرية تبعا للقياس وتتميز هذه الخاصية بعدم الفصل التلقائي للمكثف عند ما تتعرض القضبان لتأثير المصادر الأخرى وما ينعكس علي الجهد عليها .

تحتوي وحدة التحكم في المفتاح علي متمم زمني يعمل تبعا للزمن أو الجهد أو التيار أو الكيلو فار يتم تزويد المفتاح بعنصر تأخير زمني يتم اختياره تبعا لسرعة الحمل وخواص الأداء وذلك لضمان السرعة المناسبة مع تجنب التشغيل غير الضروري ، كما تحتوي الوحدة علي جهاز لترتيب فصل وتوصيل المكثفات علي الخطوات المحددة سلفا بالإضافة إلي بعض الأجهزة المساعدة كالموصلات ومفاتيح التحويل من الأداء الآلي إلي اليدوي ، وغير ذلك كما يتم اختيار نوع التحكم تبعا لظروف التشغيل و للاعتبارات الاقتصادية .

ثانيا : مكثفات التوالي Series Capacitors

مكثفات التوالي series capacitors هي مكثفات تشبه في تكوينها مكثفات التوازي وتخلف عنها فقط في طريقة التوصيل حيث يتم توصيلها علي التوالي مع الحمل أو مع الخط الواصل من الشبكة إلي الحمل ، ويقوم كل مكثف بتحسين معامل القدرة ولكن بطريقتين مختلفتين في المبدأ فبينما يقوم مكثف التوازي بإمداد الشبكة بمركبة التيار الردية اللازمة لتحسين معامل القدرة فإن مكثف التوالي يقوم بعملية التحسين عن طريق إضافة مركبة جهد عمودية كما هو موضح بالشكلين (٣-١١) أ ، ب أما في الشكل ٣-١١ (ج) تظهر دائرة توالي مكونة من مقاومة ومفاعلة تأثيرية ومفاعلة سعوية علي التوالي حيث يتضح من الشكل أن المفاعلة السعوية قد عوضت جزءا من تأثير المفاعلة .

يجب اختيار موقع مكثف التوالي بعناية تامة و دراسة تأثيره علي باقي أجزاء الشبكة قد يوضح المكثف علي التوالي مع الحمل مباشرة وقد يوضح علي التوالي بين كابل التغذية والملف الابتدائي للمحول وقد يوضع في أماكن أخري حسب ظروف التشغيل ، وفي جميع الحالات فإن دراسة تأثير مكثف التوالي علي الشبكة في غاية الأهمية حيث يمكن أن يتسبب المكثف في ظواهر مدمرة خاصة أثناء الفترات العابرة المصاحبة لعمليات التوصيل و الفصل وكذلك الأحمال ذات الطبيعة الحادة ونظرا لصعوبة ذلك الموضوع فإنه ينصح بعدم اللجوء إلي المكثفات في الشبكات الصناعية إلا عند توافر الخبرة الكافية الخاصة بذلك نذكر علي سبيل المثال أن مكثف التوالي قد يتسبب في ظاهرة الإثارة الذاتية self - excitation للمحركات التأثيرية والمتزامنة أثناء عملية بدء المحرك مما ينتج عنة أضرار خطيرة بالمحرك ، وقد يتسبب المكثف في ظاهرة الرنين المغناطيسي في المحولات ولكي يمكن دراسة تأثير مكثف التوالي علي الشبكة يلزم توافر البيانات الآتية :

١- مخطط كامل للشبكة يحتوي علي جهود قضبان التغذية ومقننات المحولات والكبلات والأحمال.

٢- أكبر وأقل معامل قدرة متوقع

٣- أكبر وأقل حمل متوقع .

٤- أكبر وأقل قدرة فعالة وقدرة ردية.

٥- درجة حرارة الوسط المحيط .

٦- الغرض من استعمال مكثف التوالي .

٧- خواص الأحمال في الفترات العابرة وفي الحالات المستقرة.

ثالثا : التعويض الشامل في خطوط النقل General Compensation

تلعب مكثفات التوازي ومكثفات التوالي دورا هاما في التحكم في أداء خطوط نقل و توزيع القوي الكهربية علي جميع مستويات الجهود (٠,٤– ١١ – ٥٠٠ ك. ف.) وتحتاج تلك الخطوط إلي التحكم التلقائي الدقيق علي محورين للكميات الكهربية تحت القياس هما : الجهد والقدرة الردية .

المحور الأول : التحكم في الجهد

تتضمن طرق التحكم في جهود خطوط النقل و التوزيع ما يلي :

١– استخدام محولات ذات نسب تحويل متغيرة tap - changing عند بداية الخط ونهايته .

٢– توصيل مفاعلات علي التوازي مع الخط أثناء الأحمال الخفيفة أو أثناء توصيل خطوط طويلة ذات جهد فائق EHV .

٣ – توصيل مكثفات علي التوازي مع الخط أثناء فترات التحميل العالي أو أثناء التحميل بأحمال ذات معامل قدرة منخفض .

٤– استخدام مكثفات علي التوالي مع الخط وهي هامة عند التحميل غير الخطي.

٥– التحكم الدقيق والناعم في الجهد من خلال المعوضات للقدرة الردية خصوصا وإنها قد ظهرت منتشرة في الآونة الأخيرة .

٦– التحكم في إثارة المولد excitation ومنظم الجهد voltage regulators في محطات التوليد .

المحور الثاني : التحكم في القدرة الردية

ذكرنا أن كلا من الجهد و القدرة الردية مرتبطان ببعضهما بحيث أن التغير في أي منهما يؤدي إلي تغيير الأخر بصورة غير مباشرة ومن المعروف أنه يتم التحكم في الجهد عن طريق النقل عن طريق التحكم في سريان القدرة الردية خلال هذا الخط ويتم التحكم في القدرة الفعالة عن طريق التحكم في زاوية القدرة power angle بين الجهدين عند طرف الإرسال sending end وطرف الاستقبال receiving end.

يتم التحكم في سريان القدرة الردية خلال خط بحقنه بالقدرة الردية اللازمة باستخدام الطرق المختلفة :

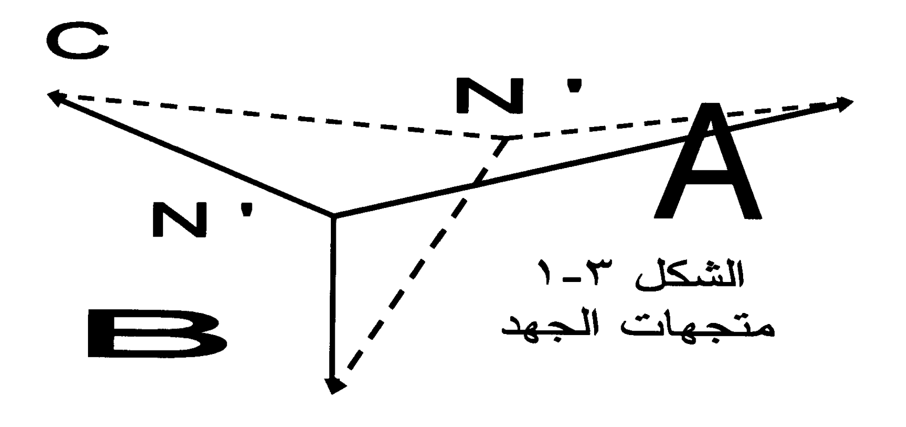
١) مكثفات التوازي.
٢) مفاعلات التوازي.
٣) مكثفات التوالي.
٤) المكثفات المتزامنة.

أخيرا نشير إلي مكثفات التوالي في خطوط النقل وهي المساوية للفرق بين مفاعلة الخط ومفاعلة المكثف ونظرا لان المفاعلات تعمل علي الحد من قيم تيارات القصر فان مكثف التوالي يؤدي إلي ارتفاع تلك التيارات بصورة ملحوظة ، علاوة علي أن عمليات توصيل وفصل المكثف يصاحبها تجاوزات هائلة في كل من الجهد والتيار وعليه فإن مكثفات التوالي علي الخط تحتاج إلي ترتيب خاص ولبيان أحد طرق توصيل مكثف التوالي مع خط النقل سواء عند طرف الإرسال أو طرف الاستقبال أو عند أي محطة بينية أثناء التشغيل الطبيعي يكون المفتاح العازل الرئيسي Bypass Isolator لجهتي خطوط التيار المتردد مفتوحا والمفتاحان الآخرين موصلين حيث كل منهما يمثل العازل التوالي Series Isolator بينما المفتاح الثالث (Bypass Breaker) يكون مفتوحا ويؤدي إلي توصيل المكثف علي التوالي مع خط النقل وإلي خفض المفاعلة الكلية للخط حيث تصبح قيمتها واحدا فيمر بذلك التيارI خلال بطارية مكثفات(Capacitor Battery) التوالي والتي تتكون من عدة وحدات علي التوالي وعلي التوازي للحصول علي القيمة المطلوبة لسعة المكثف . يتم توصيل دائرة خمد damping circuit مكونة من مفاعلة ومقاومة للحد من التيارات المندفعة لحظة توصيل المكثف وأيضا التي تنتج أثناء توصيل قاطع الدائرة (٣) . وعند الحاجة إلي إخراج المكثف من الخط يجب توصيل قاطع الدائرة (٣) أولا ثم توصيل المفتاح (١) بعد ذلك حيث يمر التيارعندئذ خلال الخط ولا يمر في

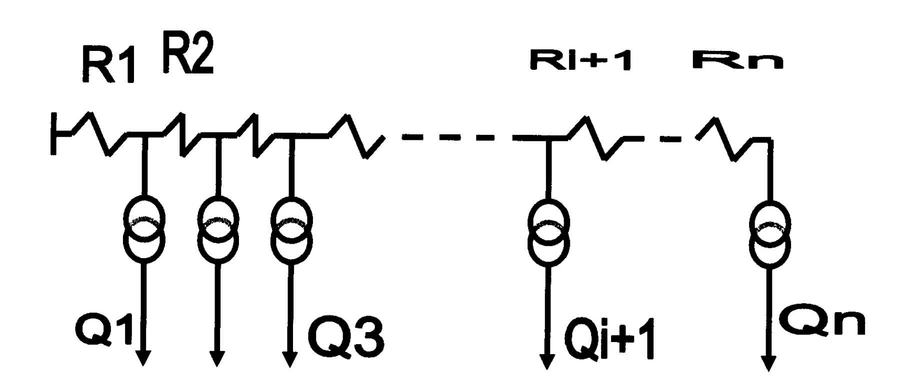
المكثف . تتم الحماية من تجاوزات لتيار Overload بواسطة مرحلات relays موصلة علي محـــولات التيار بينما يتم الحماية من القصر الأرضي Earth Leakage بواسطة مرحل متصل بمحـــول التيـــار ويقوم مفاعل التفريغ discharge reactor بتوفير مسار لتفريغ بالمكثف بعد فصلة رافعا جهـــده ممـــا يؤدي إلي تلف هذا المكثف تستخدم الثغرة لاستقبال الشرارة spark gap لحماية المكثف من التجاوزات العابرة العالية في الجهد Transients فعند ارتفاع الجهد علي المكثف عن حد معين ينهار الوسط العازل في فجوة الشرارة ويمر بالتالي تيار في محول التيار الذي يتحكم من خلال مرحلة في قاطع الدائرة ٣ فيؤدي إلي توصيل القاطع وإبعاد تيار القصر عن المرور في المكثف ويجب عزل الخط عن طريـــق قواطع الدائـــرة الموجـــودة فـــي نهايتـــي الخـــط وهنـــاك أيضـــا خطـــوط نقـــل التيـــار المتـــردد المرنـــة Flexible AC Transmission (Fact) منذ عام ١٩٨٨ بهدف التغلب علي المصاعب في كل من الجهد والقـــدرة الرديـــة في خطـــوط النقـــل الطويلة ذات جهود فائقة ولها مفاعلة تأثيرية كبيرة وسعة توازي shunt capacitance عاليـــــة مـــع الأرض ويتخلـــل هـــذه محطـــات بينيـــة substations intermediate علي مسافات تتراوح بين ٢٥٠ و ٣٥٠ كيلو متـــر ، حيـــث يـــتم تركيـــب التجهيزات الآتية في كل محطة:

* مكثفات توالي يتم التحكم فيها بواسطة مفاتيح ثارستور.

* معوضات قدرة ردية (SVC) تحتوي علي مكثفات توازي محكومة بالثايرستور ويتم الـــتحكم فـــي مفاتيح الثايرستور بواسطة منظومة تحكم ذات تغذية خلفية feed-back control system ويمكن بـــذلك التحكم في كل من الجهد والقدرة الفعالة والقدرة الردية ،وجدير بالذكر أنة من العوامل التي ســـاعدت علي نجاح تصميم خطوط (FACT) بشكل عام ذلك التطور الهائل في تقنية طرق التحكيم في مكثفات التوالي والتوازي .



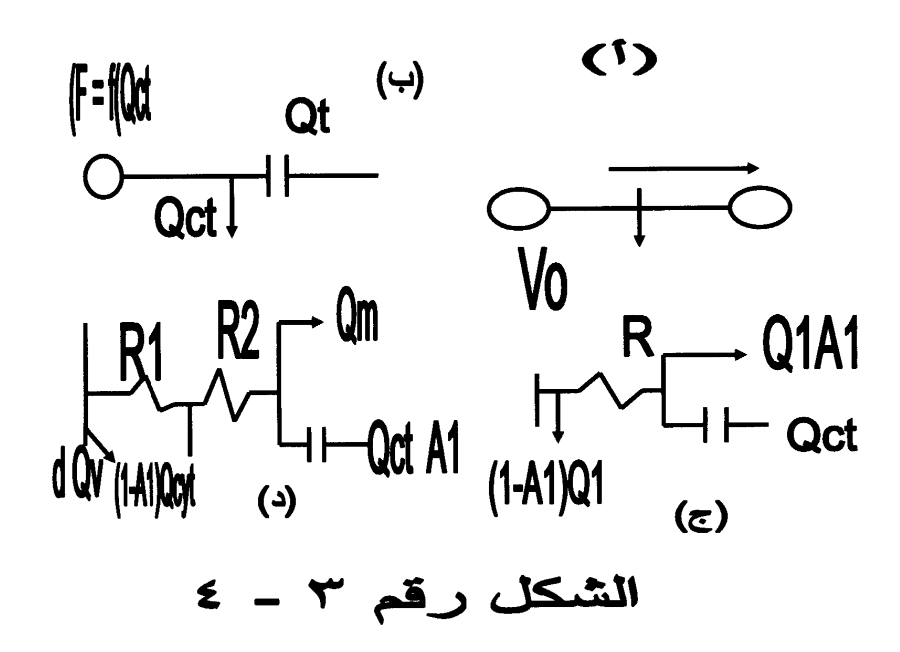
الشكل ٣-١
متجهات الجهد



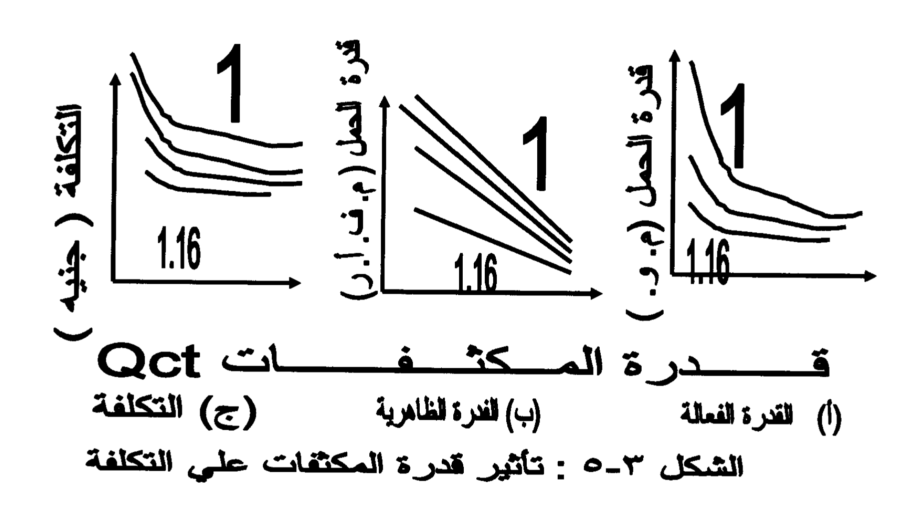
الشكل رقم ٣-٢ : الدائرة المكافئة لشبكة التوزيع



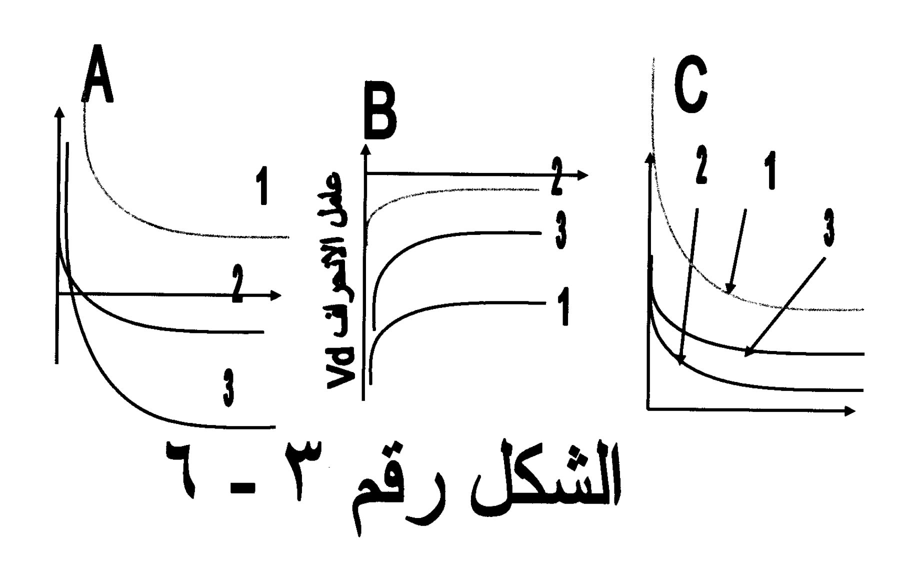
الشكل رقم ٣ - ٣



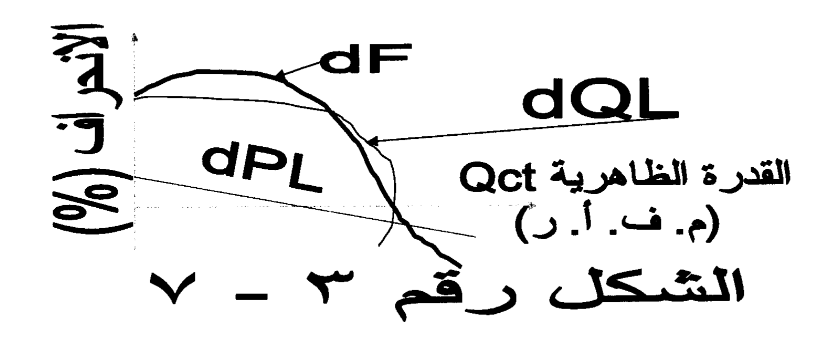
الشكل رقم ٣ - ٤



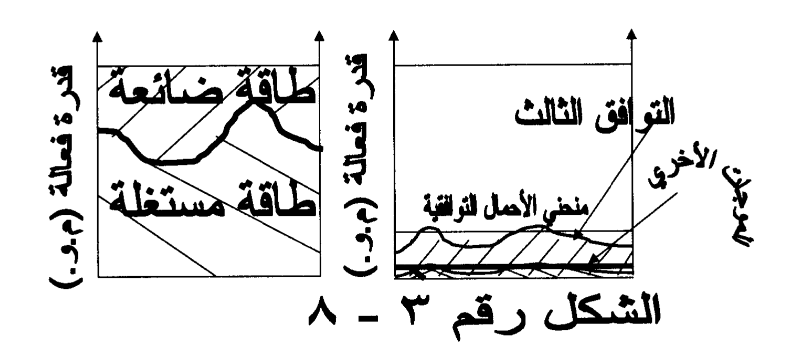
الشكل ٣-٥ : تأثير قدرة المكثفات علي التكلفة



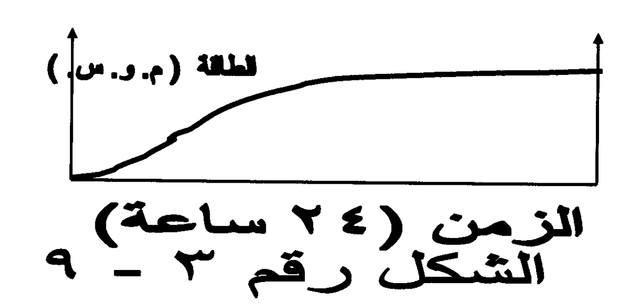
الشكل رقم ٣ - ٦



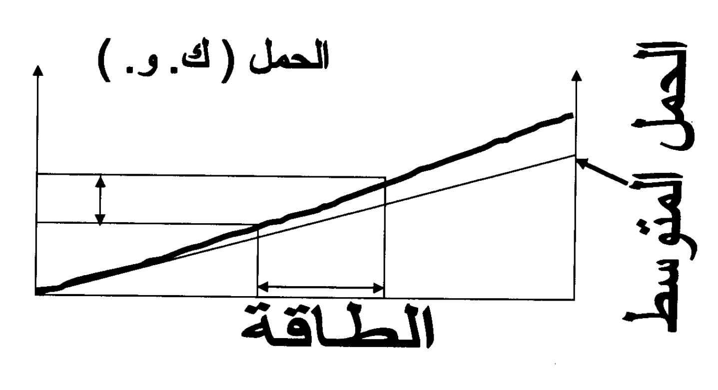
الشكل رقم ٣ - ٧



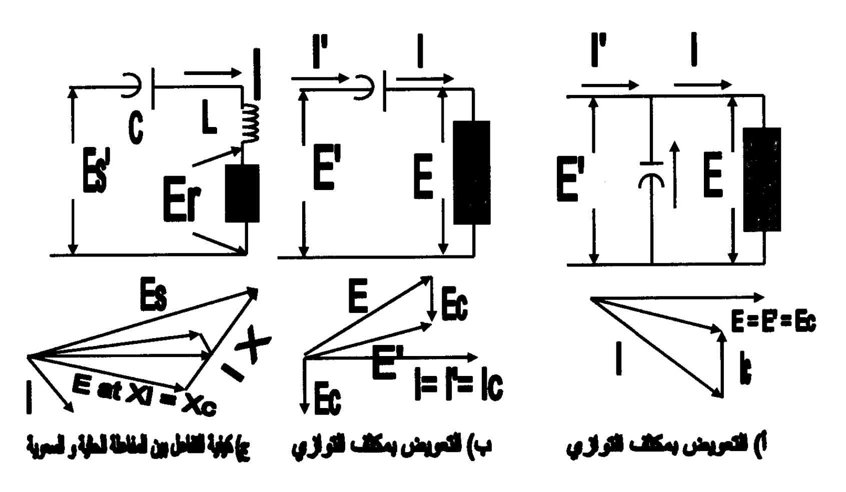
الشكل رقم ٣ - ٨



الشكل رقم ٣ - ٩



الشكل رقم ٣ - ١٠



شكل ٣-١١ : تأثير التوصيلات المختلفة للمكثف علي حمل (المحرك)

الباب الرابع

الموجات التوافقية Harmonic Waves

تتعامل الشبكات الكهربائية مع كافة الخصائص التي تتباين بين الصفات الخطية وغير الخطية وتعمل مع وحدات متعددة مختلفة الغرض والمعني ومن ثم لزم التأكيد علي المفهوم العام لرؤية الشبكات من هذا المنطلق ولذلك نضع في (الشكل رقم ٤-١) رسما تخطيطيا لشكل الشبكة بصفة مطلقة حيث يبين أن التوليد لا بد وأن يأتي بجهد وتيار خطيان ولهما الصفات الخطية دوما ومن هنا تنتقل الصفات الخطية طالما يمر التيار الخطي علي مكونات ومازال الجهد خطيا كما يظهر من المربع الأول وينتقل هذا إلي مكونات داخل الشبكة لها صفات غير خطية وبالتالي يسلط عليها الجهد الخطي فيمر في البداية التيار الخطي ولكنه سرعان ما يتحول إلي صفة غير خطية لمجرد المرور بمكون غير خطي وينتج ذلك تيارا وجهدا بخصائص غير خطية كما يظهر من المربع الثاني وهو ما يعرف بتشوه التيار Current Distortion نتيجة الحمل غير الخطي أو المكون بالشبكة غير الخطي لأن هذا التشوه ينتج عن المكون (الحمل) مهما مر بعد ذلك في مكونات خطية أو غير ذلك لأن المنبع لكل ما هو تالي غير خطي بالرغم من أن يكون المكون خطيا مثل المربع الأخير فإن تشوه الجهد Voltage Distortion حادث لا محالة وهذا ما يشكل الخطورة علي الشبكات ولكننا لا نستطيع تجاهله لما له من تأثيرات ضارة .

من الجهة الأخرى يعرض الشكل رقم ٤-٢ نوعا أخر من التباين مع الصفات المعتادة في تشغيل الشبكة وهو عامل عدم الاتزان في توزيع الجهد والتيار وهو ما يأتي من الأحمال عادة ونتيجة التحميل علي طور واحد أكثر من غيره فتتحول الخصائص إلي صفات غير متزنة وهي تختلف عن الموضوع الأول والخاص بالصفات الخطية وهنا من الممكن أن يكون التحميل المتزن غير خطيا أو خطيا وبالمثل التحميل المفرد علي الوجه الواحد ويتم التعامل رياضيا مع موضوع عدم اتزان التوزيع علي الأوجه من خلال ما يعرف بالمركبات المتماثلة Symmetrical Components كتعبير هندسي للتعامل مع عدم التوازن بين الأوجه بالأسس الرياضية بينما نتوجه بموضوع الخصائص غير الخطية إلي تحليل رياضي آخر كي نستطيع التعامل معه بنفس الأسس ، وعلي الجانب الآخر أيضا نجد أن الموجة الأصلية Fundamental Wave في الشبكة قد تكون ذات دالة الجيب النقية Pure Sinusoidal تماما (معادلة ٤-١) أومضافا إليها قيمة ثابتة DC Component (معادلة٤-٢) أوانها موجة ذات تشويه فقط (المعادلة ٤-٣) أوهذه الأخيرة مضافا إليها المركبة المستمرة (المعادلة ٤-٤).

Actual Wave = Pure AC Wave (4-1)

Actual Wave = DC Component + Pure AC Wave (4-2)

Actual Wave = Distorted AC Wave (4-3)

Actual Wave = DC Component+Distorted AC Wave (4-4)

٤-١ : خصائص الموجات التوافقية Characteristics of Harmonics

علي غرار ما تقوم التحليلات الرياضية بالتعبير عن الصفات غير المتزنة نعرض الأسلوب الرياضي للتعامل مع نوعيات الصفات غير الخطية حيث أن الموجات الكهربائية بكل أنواعها ذات صفات دورية مما يعني التكرار المتتالي للشكل الواحد كل دورة زمنية ثابتة t ؟ تعرف بزمن الدورة فيكون في الحقيقة الشكل غير الخطي التكراري مخالفا للشكل الأصلي فالموجات الكهربائية جميعا عبارة عن موجات ذات دالة الجيب وتتبع التغير بالدالة الرياضية المعروفة بدالة الجيب sin ومن ثم التغير الطفيف في هذه الدالة v(t) يعني صفة غير خطية وتحويله رياضيا إلي معني مبسط رياضيا يتم من خلال متسلسلات فوريير:

$$v(t) = V_o + v_1 \sin \omega t + V_3 \sin 3\omega t + \dots + V_n \sin n\omega t + V_1 \cos \omega t + V_3 \cos 3\omega t + \dots + V_n \cos n\omega t + \dots = SUM\ V_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (4-5)$$

وهي ما تعني تحويل الشكل المتكرر بصفات غير دالة الجيب إلي مجموعة لا نهائية من الأشكال العاملة بدالة الجيب أو جيب التمام أو كلاهما معا لتعطي المحصلة ذلك الشكل غير الخطي المحدد أي أنه يمكن تحويل أية موجة تكرارية إلي عدد لا نهائي من الموجات التالية بشكل عام :

١- موجة ثابتة لا تعتمد علي الزمن وهي التي تعرف في مجال الهندسة الكهربية بالمركبة الثابتة أو التيار الثابت أو الجهد للتيار المستمر DC.

٢- عدد لانهائي من الموجات الخاضعة لدالة الجيب وهي الدوال أو الموجات الكهربية التي تبدأ من الصفر عند بداية الزمن وتتغير مع الزمن بشكل دالة الجيب وتتعدد هذه الدوال تبعا لزمن الدورة وتسمي تبعا لزمن الدورة .

٣- عدد لا نهائي من الموجات الخاضعة لدالة جيب التمام مثل السابقة ولكنها تبدأ بالقيمة القصوى عند بداية الزمن .

دالة فوريير توضح الحالات المختلفة التي تختفي أي من هذه النوعيات الثلاثة كما أنه من الحسابات الرياضية والتحليلات الهندسية يمكننا الاكتفاء بعدد محدد من الموجات بدلا من التحليل النظري للعدد غير المنهي حيث يكفي أن نصل إلي حد مقبول للدقة التي نحتاجها علاوة علي أن كل حد من حدود مسلسلة فوريير يعني موجة مستقلة فقد تم تعريفها باسم " الموجة التوافقية " وبذلك يبين لنا أن الموجات التوافقية ما هي إلا تعبيرا رياضيا لتفسير ظاهرة تشوه الموجات الكهربائية المختلفة ولهذا نجد من المميزات التي نحصل عليها من خلال هذه المعادلة ما هو آت :

١- سهولة التعامل هندسيا Simplicity مع الموجات ذات التشويه أي تلك التي تتضمن موجات توافقية أو الموجات الأخرى ذات النمط الخاص مثل شكل المثلث أو الأسنان أو المربعة أو المستطيلة وغيرهم وهي أشكال كثيرة وتنتشر في مجال الإلكترونيات .

٢- إمكانية فصل الموجة الأساسية Fundamental Wave عن بقية الموجات والتعامل معها رياضيا بصفة مستقلة بالتردد الرئيسي Base Frequency .

٣- بساطة حصر نوعية Types الموجات التوافقية المتواجدة وطبيعتها ومن ثم تحليل سريع لإمكانيات الدائرة وسبل التطوير المتاحة .

٤- تعيين حدود إهمال الموجات التوافقية Boundary of Harmonics بدقة كاملة .

٥- فصل كل موجة توافقية بمفردها عند اللزوم للتعامل معها كما هو الحال مع الموجة الثالثة التوافقية 3rd Harmonic والتحول إلي مفهوم زاوية الإزاحة Phase Displacement وتعدد الأطوار Multi Phase Systems كما هو المعتاد في الشبكات الكهربائية .

٦- إمكانية التحول إلي المركبة الفعالة والأخرى غير الفعالة مع كل موجة توافقية n علي حدة ومن ثم تحديد القدرة الفعالة P_n وغير الفعالة Q_n لكل منها علي حدة .

$$S_n = P_n + j\,Q_n \quad (4-6)$$

٧- تحديد المعوقة لكل توافق بصفة مستقلة حيث نجد

$$Z_n = R_n + j\,X_n = R_n + j\,(n\,\omega\,L - [1/ n\,\omega C\,]) \quad (4-7)$$

وجدير بالذكر أن كلا من المقاومة R_n والممانعة X_n يعتمد علي الذبذبة أي درجة الموجة التوافقية وتتغير قيمة المقاومة الفعالة تبعا لصفات مميزة مع التغير في الذبذبة ، أما بالنسبة للعنصر المكون للشبكة فهو يتبع نوعين من حيث الصفات هما :

١- عنصر خطي عند جميع الترددات .

٢- عنصر خطي عند تردد معين وغير خطي عند البقية منهم تتمتع المعوقة الخاصة بالشبكة هنا بانخفاض قيمتها نسبة إلي معوقة الحمل وكلما قلت تزداد الشبكة اتزانا وتعطي أداء أفضل من خلال

تقليل التشوه في موجة الجهد بدرجة أقل عن تشوه موجة التيار بينما زيادة معوقة الشبكة يعنـــي إلـــي درجة تشويه عالية وهنا تعتبر قيمة تيار القصرمقياسا مناسبا لمقدارمعوقة الشبكة عند التردد الرئيسي ، ولذلك نجد نظريا أن الشبكة لانهائية الجهد Infinite Network عندما تصبح معوقتها صفـــرا حيـــث لا يؤثر مرور التيار إلي أي تغير أو تأثير علي جهد القضبان بها . كما نحتاج إلي المزيد من الفهم علـــي النحو التالي.

ظهرت وسائل القياس للموجات التوافقية علي مدار القرن الماضي ففي عـــام ١٩٢٥ بـــدأت الطـــرق الديناميكية للقياس حيث يمر التيار الخالي من الموجات التوافقية في الملف الساكن بينما المحتوي عليها يمر بالملف المتحرك وتظهر الإزاحة في زاوية الحركة والدوران مدي تواجد هذه الموجات التوافقية ثم في عام ١٩٣٩ انتقل القياس إلي الأسلوب الاستاتيكي بجهاز الديناترون العامل بالصمامات الإلكترونية بنفس الجوهر السابق في المقارنة ثم مع التقدم في الأجهزة الرقمية والحاسب الآلي تمكنا من القيـــاس بدقة بدءا من مرشح كالمان الرقمي في ١٩٦٠ ومن الناحية الرياضية هناك أيضا معيارا لقياس تواجـد الموجات التوافقية في الموجة الفعلية للجهد أو التيار وذلك من خلال المعاملات القياسية الثلاث:

١ – معامل الشكل الموجي Form Factor

يعبرعن نسبة تواجد القيمة RMS إلي القيمة المتوسطة لنصف الدورة Half Cycle بالمعادلة :

k_f = RMS / Half Average value (4- 8)

هذه القيمة تساوي١,١١ بالنسبة للموجة بدالة الجيب والتي لا تحتوي علي موجات توافقية .

٢ – معامل القيمة القصوى Peak Factor

يمثل نسبة القيمة القصوى إلي القيمة الفعلية والمعروفة RMS

k_p = Peak Value / RMS (4-9)

هذه القيمة تساوي ١,٤١ بالنسبة للموجة بدالة الجيب والتي لا تحتوي علي موجات توافقية .

٣ – معامل التشوه Distortion Factor

وهو مقياس لقيمة الموجة الأساسية الأولي RMS_1 نسبة إلي ذات القيمة للموجة الفعلية RMS

k_d= RMS_1 / RMS (4-10)

هذه القيمة تساوي (١) بالنسبة للموجة بدالة الجيب والتي لا تحتوي علي موجات توافقية ومـــن هـــذه المعاملات الثلاث نحصل علي معامل التوافق في الموجة Harmonic Factor وهو :

$k_h = [\{1/ RMS_1 \} \quad \{ SUM \quad V_n^2 \}^{½}]$, n = 2,…

$k_h = [\{1/ k_d \} \quad \{ 1- k_d^2 \}^{½}]$ (4-11)

هذا المعامل يعبر بجلاء عن تواجد الموجات التوافقية ومدي تأثيرها علي الموجة الفعلية .

٤–٢: مصادر الموجات التوافقية Harmonic Sources

تتعدد الأسباب التي تساعد في ظهور الموجات التوافقية وهي ما تنعكس علي شكل الموجة الكهربيـــة العاملة بدالة الجيب الخاصة بالشبكة بذبذبة ٥٠ هيرتز وهو كما سبق التوضيح ويمثل الشكل رقـــم ٢ الرسم الصندوقي لهذه المصادر وتشمل :

(أ) مكونات الشبكة components

تتضمن المهمات والمساعدات التي قد تأتي بالموجات التوافقية إلي الشبكة ومنها :

١ – المكثفات Condensers

يستعان بالمكثفات التعويضية ذات الطابع بالتوصيل علي التوالي أو التوازي في حالتين بشكل عام مثل أطراف محطات التوليد أو في منتصف الخطوط الطويلة لتعديل الخواص إلا أنه مع المكثفات التوالـــي تظهر الموجات التوافقية الثنائية (2nd harmonic) خصوصا وأنها ذات تأثير أكبر علي تشغيل الشبكة أو تحديد الشكل الموجي للذبذبة وتظهر خصائص المكثف الذبذبية في (الشكل ٤–٤).

٢- الملفات Coils

تشمل الملفات كلا من ملفات محولات القدرة Power Transformers وملفات محولات القياس Measuring Transformers بجانب ملفات التعويض بنهاية خطوط النقل Reactors نتيجة لتواجد الفيض المغناطيسي غير الخطي في القلب الحديدي للمحول تظهر المركبة الثالثة من الموجات التوافقية (3^{rd} harmonic) وهى أكثر النوعيات شيوعا في بالشبكات ولهذا يجنب تجنب تشغيل المحولات علي الأحمال الخفيفة (light loads) لارتفاع نسبة تواجد التيارات غير الخطية في المحول مما يزيد معه تأثير عدم الخطية والتي تنتج عن خصائص التشبع في القلب الحديدي وتظهر المركبة الثالثة التوافقية بقيمة ملموسة وهو أمر غير مرغوب فيه ، وبذلك يلزم التعامل مع هذه العناصر بأهمية بالغة للتخلص من هذه الموجات التوافقية مثل ما يحدث بالنسبة للمحولات كما ذكر عالية ، كما هناك العديد من الملفات المستخدمة في الشبكات ومنها المنتشر في الأحمال مثل الملفات الخانقة والمستخدمة مع المصابيح وغيرها ، وأحيانا نكون في حاجة إلي هذه الموجات التوافقية كما هو الحال مع الموجة الثالثة لتشغيل الأفران الحثية (الشكل ٤-٤) .

٣ - الخطوط والكابلات الكهربائية Lines & Cables

حيث تظهر الصفات غير الخطية مع تواجد ظاهرة الكورونا Corona presence في خطوط النقل الكهربي وخاصة ذات الجهد العالي والفائق ونتيجة لتواجد المكثفات في الدوائر المكافئة للكابلات وهو ما يزيد من التشوه للموجات الكهربائية .

٤- المعدات ذات خواص بدء غير خطية Nonlinear Starting

تتمثل هذه الخاصية فيما يحدث عند بدء تشغيل محولات القدرة أو تشغيل المحركات والمولدات الكهربائية وما تظهر منها من صفات غير خطية تحتوي علي الموجات التوافقية.

(ب) مكونات إلكترونية Electronic Components

مع التقدم العلمي والتكنولوجي ظهرت النبائط (أشباه الموصلات) مثل الصمامات الثنائية Diodes والثيرثتور Thyristors أو الترانزيستور Transistors التي تستخدم في دوائر التحكم التلقائي للمحركات الكهربية والدوائر الإلكترونية التي دخلت في شتى المجالات علي نطاق واسع بما فيها من مبدلات إستاتيكية Static Converters أو دوائر الراديو والتلفزيون ومن أهمها :

١- أجهزة القوس الكهربي Arc Devices

تلك الأجهزة والمعدات تعمل علي أسس القوس الكهربي في الدوائر الكهربية مثل محولات اللحام Welding Transformers أو الأفران الكهربية Electric Furnaces أو مصابيح القوس الكهربي ArcLamps وهي تمثل واحدا من أهم المصادر للصفات غير الخطية في الأحمال Nonlinear Loadsفتتسبب في ظهور التشويه للموجات (الموجات التوافقية) .

٢- دوائر التوحيد الكهربي Rectifiers

ظهرت الحاجة الماسة إلي تطبيقات التيار المستمر DC فجعل منها وسيلة جوهرية للتعامل مع الشبكات سواء كانت أحمالا أو محطات ضخمة Converting Stations داخل الشبكة وحيث أنها تقوم بتحويل الموجات الأصلية النقية في الشبكة إلي موجات تيار مستمر متضمنا ظهور الكثير من الموجات التوافقية فقد وجب وضع المرشحات الكهربية Filters لها دوما للتخلص من كل هذه الموجات المتداخلة وغير المرغوبة ، ودوائر التوحيد إما أن تكون مفردة الطور كما هو الحال بالنسبة للأجهزة المنزلية والتجارية وكذلك الحاسب الإلكتروني وتكون فيها نسبة الموجات التوافقية أعلي أو أن تكون ثلاثية الطور مثل التركيبات الصناعية أو في محطات الكهرباء عموما ومن ثم تظهر فيها الموجات التوافقية بدء من التوافق الخامس فالسابع وهكذا وهي تتبع القاعدة الخاصة بالتناسب العكسي لقمة الموجة I_n نسبة إلي الموجة الرئيسية I_1 مع درجة التوافق n أي :

$$I_n\,(\text{Crest}) = (\text{Constant})\ I_1 / n \qquad (4\text{-}12)$$

ويمكن تخفيض تأثير الموجات التوافقية في هذه الدوائر عن طريق التعامل مع المرشحات المخصصة لكل توافق واستخدام مبدلات ذات نبضات أعلي .

(ج) عمليات تشغيل الشبكات Operation Performance

تشمل حالات التشغيل تلك الحالات حيث الاستقرار وتتضمن كل العمليات اللازمة للتشغيل المعتاد وهي ما تنقسم إلي :

١ – الحالات الانتقالية Transient Conditions

تأتي العمليات العادية للفصل والتوصيل علي قمة المؤثرات في هذا المجال ومن ثم يتولد معها تشوه للموجات الأصلية ولكنها تتميز بفترتها القصيرة جدا لأنها تشوه الشكل الموجي فتظهر الموجات التوافقية نتيجة ارتفاعات مفاجئة في مقدمة الموجة (التيار أوالجهد) فيظهر الشكل النبضي وهو ما يحتوي علي العديد من الموجات التوافقية بما فيهم الثالثة وتأتي هذه الحالات إما تبعا للتشغيل المعتاد أو الخاطئ أو لوجود عيوب متراكمة في المهمات داخل الشبكة حتى لو كانت خطية .

٢ – أحمال التفريغ الشراري Discharging Loads

تظهر في مقدمة هذه النوعية من الأحمال تلك المصابيح الغازية والتي تعمل مع التأين أو التفريغ الغازي وما يصاحبها من خصائص تؤثر بشدة علي الموجات الأصلية فتظهر منها الموجات التوافقية .

(د) عوامل خارجية External Factors

يمكن تنويع هذه العوامل إلي قسمين هما :

١ – الصواعق الخارجية Surges

تأتي الصواعق الطبيعية عندها ضربها للشبكات الكهربية أو الأجهزة العاملة عليها بموجات غير خطية ممتلئة بالموجات التوافقية غير التكرارية ولفترة متناهية الصغر ومن الممكن تجاهلها .

٢ – التداخل مع الدوائر الأخرى Interference

عند التداخل بين الدوائر المختلفة للشبكات أو الخطوط أو الشبكات مع الدوائر التليفونية أو مع غيرها من الدوائر ذات المجال الكهرومغناطيسي فيتولد تيارات متبادلة وغالبا ما تحمل الصفات غير الخطية فتعمل عل توليد الموجات التوافقية في الشبكة ويمثل الشكل رقم ٤–٥ المبدأ الهام في هذا الصدد حيث يعطي دائرة مغلقة مثل الشبكة الكهربية والأحمال عليها في الدائرة الأولى بينما يتداخل معها تأثيرا من دائرة أخرى بعيدة الاتصال عنها ولكنها تتداخل بالمجال الكهرومغناطيسي والمعبر عند بالقيمة M التي تشبه الممانعة الفعلية في الدائرة .

ومن ثم تظهر التأثيرات علي شكل معوقة مضافة 'إلي الدائرة الأصلية بصفات الدائرة الأخرى وتكون المعوقة الفعالة الحقيقية هي:

$$Z_{1eff.}=Z_1+\{\omega^2 M^2/Z_2\}=R_1+j\,(\omega L_1-1/\omega C_1)+[\omega^2 M^2/\{R_2+j\,(\omega L_2-1/\omega C_2)\} \quad (4\text{-}13)$$

هذا بدورة يؤكد ظهور معوقة مضافة إلي المعوقة الموجودة في الشبكة وبالتالي تنعكس علي تصرفات الشبكة وهو ما قد يؤدي إلي ظهور الموجات التوافقية عن طريق خارجي ومن ثم نحصل علي التيار بالدائرة بالصيغة:

$$I_1 = V / \{R_1+ \omega^2 M^2/R_2\} \quad (4\text{-}14)$$

٤–٣ : مواقع وطبيعة الموجات التوافقية Locations

من الطبيعي أن تنحصر مواقع الموجات التوافقية في الدوائر المغلقة عليها في الشبكة فمثلا المركبة الصفرية الثابتة تظهر في الدوائر المؤرضة سويا أي تأريض جهتين بعينهما دون البقية من الدوائر المتلاصقة وهو الأمر المتبع في عزل التيارات الصفرية في الشبكات فيقلل من تيارات القصر بصورة ملموسة لتكون مغلقة علي هذه النوعية من التيارات التوافقية تظهر الأحمال التوافقيةHarmonic Loads والتي عادة ما تكون ضارة بتشغيل الشبكة مع ظهور الأحمال والمكونات غير الخطية الكهربائية ، وبالرغم من أنها ذات قيمة متضائلة إلا أن العائد عن تواجدها يعطي الكثير من الأضرار فقد تظهر في

دوائر بها خطأ وحينئذ تعمل الأجهزة مشيرة إلي قراءة قد تبتعد قليلا عن الواقع لهذا السبب ، مع العلم بأن الفارق قد لا يكون كبيرا ولا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل يصل لكل المجالات في إطار الشبكة الموحدة وتنحصر أهم العيوب والأضرار فيما يلي :

١- المساهمة في سرعة انهيار عزل مكثفات تخسين معامل القدرة بالشبكة نتيجة ارتفاع تأثير التيارات التوافقية حراريا .

٢- التأثير السلب علي دقةاستقبال الإشارات في الأجهزةالإلكترونية مثل التلفازوالمذياع (الشكل ٤-٥).

٣- التداخل مع أجهزة التحكم عن بعد ووسائل الاتصالات المحمولة لتواجد الترددات العالية والتي عادة تتوافق مع مقننات هذه الوسائل (الشكل ٤-٥).

٤- عدم استقرار دوائر الإشعال في دوائر القوى الإلكترونية تبعا للتغير في نقطة التشغيل مع الزمن.

٥- تأثير الرنين التالف لمكونات الشبكة (الشكل ٤-٦).

٦- التأثير الديناميكي المدمر للمحركات.

٧- استخراج قراءات خاطئة عن معاملات الشبكة .

٨- انهيار عزل الكابلات الكهربية نتيجة أحمال الجهد التوافقية .

٩- زيادة الفاقد في الدائرة وخصوصا في المكونات ذات الخواص المغناطيسية .

١٠- التأثير بعدم دقة تشغيل المتممات بدوائر الوقاية في المحطات .

١١- التداخل مع نظم التحكم التلقائي لنظم الإثارة المستخدمة في محطات التوليد .

١٢- الإسراع في تلف الملفات الخانقة والمكثفات المستخدمة مع مصابيح الإنارة عموما .

لذلك يلزم استعراض أهم الصفات الطبيعية لموضوع الموجات التوافقية وهو فيما يلي :

أولا : الرنيني التوافقي Harmonic Resonance

يحدث الرنين في الدوائر الكهربية عموما في كلتا الحالتين من التوصيل (توالي أو توازي) ولكل منهما خصائص التصرف التلقائي حيث في حالة الرنين في التوالي تتغير الصفات التي تخص مكونات الدائرة كما في (الشكل رقم ٤- ٦) تبعا لزيادة الذبذبة ؟ بالشكل المعتاد حيث تزيد الممانعة خطيا وتقل السعة بالشكل غير الخطي المبين ويكون مجموع الممانعة والسعة هما محصلة الممانعة X في الدائرة وتكون صفرية عندما تتساوى ممانعة الملف XL مع معوقة المكثف Xzc وهي الحالة الانتقالية للدائرة للتغير من الدائرة السعوية Capacitive إلي حثية Inductive الطابع وهو ما يميز هذا النوع من الرنين ويعرف برنين التيار Current Resonance حيث يظهر علي منحنيات الرنين أن التيار أصبح أقصى ما يمكن في الدائرة بينما تعتمد نقطة الرنين علي معامل الجودة وهو ما نهتم به كثيرا في الدوائر الإلكترونية وفي ضبط ذبذبة الاستقبال والإرسال بينما نحن هنا نحاول التخلص من هذه الحالة .

أما في حالة التوصيل علي التوازي تتحول هذه الخصائص علي النحو المبين في (الشكلين ٤-٦ ، ٧) حيث نري أن التوازي يجعلنا نجمع مقلوب الممانعات ونحصل في النهاية علي منحني المعوقة من قطعتين غير متصلتين ونقطة الرنين هي عند الانتقال من اللانهاية الموجبة إلي اللانهاية السالبة وعندها تتحول الدائرة من ممانعة حثية إلي تلك السعوية علي نقيض الرنين التوالي ويعرف برنين الجهد Voltage Resonance كما أنه في الدوائر المتشابكة Interconnected Circuits والتي تحتوي علي العديد من هذه الفروع الكهربية في التوصيل توازي توالي نحصل علي حالات التغير من دائرة حثية إلي سعوية (رنين توازي) ثم تعود إلي الحثية (رنين توالي) وهكذا أي لا يجوز تكرار رنين توازي مرتين متتاليتين أو توالي متتاليين أي لا بد من العبور بهما تباعا.

تغذي الأحمال اللاخطية الشبكة الكهربية عند مرور التيار بها بالتيارات التي تتضمن الموجات التوافقية خصوصا وأن معوقة الشبكة تكون عادة أقل بكثير من معوقة الأحمال والتي عادة تكون حثية الطابع وهي التيارات التي تتناغم مع االمكثفات الموجودة بالشبكة أو تلك القيمة المكافئة للسعة التي

تظهرنتيجة مكوناتها فتؤدي إلي حدوث الرنين والذي لا يتوافر بالطبع إلا في واحدة فقط أو أكثر من الموجات التوافقية تبعا لنوعية الأحمال ومكونات الشبكة الكهربائية حيث يكتمل شرط تواجد الرنين بنوعيه سواء رنين التوازي Parallel Resonance أو التوالي Series Resonance . ففي حالة رنين التوازي حيثما يظهر في الكثير من الشبكات الصناعية سواء تلك في المدارس الفنية أو مصانع الإنتاج والتي تشمل العديد من المحركات التأثيرية عندما يكون تردد المنبع للقدرة بالمعوقة المكافئة $R_s+j(?\ L_s-1/?\ C_s)$ مساويا أو قريبا من قيمة الرنين عند الموجة التوافقية f_o المحددة بالحمل ذو التردد الأساسي f_1 ويظهر ذلك من (الشكل رقم ٤-٨) فإذا كانت قدرة القصر للشبكة عند الحمل هي MVA_{sc} بينما مقنن المكثف هو $MVAR_c$ فنحصل علي ذبذبة الرنين تبعا للمعادلة :

$$f_o=(1/2\pi)[L_s\,C_s]^{1/2}=f_1[X_c/X_s]^{1/2}=f_1\,[MVA_{sc}/MVAR_c]^{1/2} \qquad (4\text{-}15)$$

من هذه المعادلة نري أن النسبة بين الممانعة لكل من المكثف والشبكة قد تتساوى عند أحد الموجات التوافقية ولكنها قد تعود وتتساوى عند موجة أخرى نتيجة الخواص اللاخطية التي تتمتع بها هذه الأحمال خصوصا مثل المحركات التأثيرية. أما في حالة رنين التوالي (الشكل 4-٨) عندما تتلاشى المعوقة الظاهرية (الممانعة) من الدائرة وهو ما يحدث في حالات توصيل المحولات S_t بمعوقة $(Z_t=R_t+j\,X_t)$ علي التوالي في الدوائر مع المحركات التأثيرية فتغذية الحمل من الشبكة بقدرة S_1 فيحدث الرنين عند f_o بالقيمة :

$$f_o = f_1\,[S_t/S_c\,Z_t\ -(S_1{}^2/\,S_c{}^2\,)\,]^{1/2} \qquad (4\text{-}16)$$

نشير إلي أن تأثير الأحمال ضعيف من جهة الموجات التوافقية بينما يلعب محول التوزيع دورا هاما لأن ممانعته تتناسب مع الذبذبة وبالتالي مع درجة أو رتبة الموجة التوافقية ولذلك تصبح الدائرة بمعوقة عالية مع الدرجات العالية من التوافق وتصبح مقاومة فقط في حالات الرنين خصوصا وأن معظم الأحمال ذات مقاومات وبذلك يظهر مفعولها عند الرنين ففي حالة رنين التوازي تصبح هذه المقاومة بقيمة عالية أمام مصدر التيار التوافقي كما ظهر من الشرح السابق لمعنى الرنين ومن ثم تنخفض المعوقة الكلية أمام مصدر التوافق لانخفاض قيمة مقاومة الحمل. كما أن المقاومة تقل مع زيادة قدرة الحمل فيؤدي إلي خفض التشوه نتيجة الإخماد بالمقاومة أمام الرنين ولذلك يلزم الاعتماد علي مقاومات كابلات التوزيع من أجل سرعة إخماد الموجات التي تحتوي علي الموجات التوافقية (الشكل رقم ٤-٨) كما أن انحراف التردد لحالات الرنين في الشبكة قد يرجع إلي المحركات الحثية العاملة علي نهايات الاستهلاك وهذا ما قد يتسبب في بعض الحالات التي تعمل عند الرنين دون توقعها. ويبين (الشكل رقم ٤- ٨) الخصائص العامة لظهور الرنين في الدائرة علي التوالي حيث تظهر القيم القصوى وهي الرنين لكل من التيارات ذات المرتبة الأولي والثانية والثالثة علي التوالي وبالتالي ما يجمع منها بالصفات النهائية الموضحة علي مجموع المنحنيات الثلاثة.

تظهر من ذلك بعض السلبيات التي تنتج عن الرنين مع الموجات التوافقية في نقاط كما يلي:

أولا: عيوب تشغيل المحركات والآلات الدوارة

١- زيادة الفاقد في دوائر المحركات والمحولات والممانعات.

٢- ضرورة تشغيل المحركات والمحولات في حدود أدنى من المقنن.

٣- ظهور الضوضاء وانخفاض كفاءة المحركات كما قد يصاحب ذلك بعض المظاهر الهندسية المعيبة مثل الزحف (انخفاض سرعة الدوران) Crawling والتعثر أي عدم القدرة علي بدء الدوران .

ثانيا : عيوب في القياسات Measurments

تسجيل القدرة أو الطاقة من خلال العدادات المعروفة يعطي قراءات أقل من الحقيقة مما يتسبب في ضياع مستحقات الشركات التي تبيع الكهرباء أو تسجيل قراءة أكبر من الحقيقة إذا ظهر التوافق من الحمل فتضيع مستحقات غير حقيقية علي المستهلك .

ثالثا : عيوب في دوائر الوقاية التلقائية Protection schemes

١- ظهور الموجات التوافقية يسبب خللا في القياسات اللازمة لتشغيل المتممات وبالتالي تعطـي إمـا تشغيلا زائفا أو يتوقف المتمم عن الأداء بالرغم من وجود القصر في الدائرة.

٢- التأثير السلبي علي دوائر الاتصالات وشبكات المعلومات والبيانات خصوصا تلـك التـي تخـص الشبكة الكهربية العاملة تحت تأثير الموجات التوافقية.

علي الجانب الآخر نحتاج إلي مقياس لمعايرة حدود تواجد الموجات التوافقية ومن أشهر هذه المقـاييس نوعان هما :

المقياس الأول : التشوه الرنيني الكلي THD

سبق الإشارة إلي هذا المعامل حيث يقوم بقياس كل الموجات التوافقية بعددها n مع الاعتماد علي قيمة كل موجة V_hمنسوبة إلي الموجة الأساسية V_1 في الصورة :

$$THD = 100 \{SUM_{h=2}^{n} V_h^2 / V_1\}^{1/2} \quad (4\text{-}17)$$

هذه المعادلة توضح مدي تواجد الموجات التوافقية نسبة إلي الموجة الأساسية وبذلك تعطـي التـأثير الحراري لأي توافق خصوصا عند التعامل مع الأجهزة الإلكترونية الحساسة ولكنه لا يمثـل مقياسـا حساسا لقيمة التوافق الأقصى كما في حالات الموجات النبضية والمستخدمة في محال الجهد العالي .

المقياس الثاني : مستوي كل توافق Individual Harmonic Level (IHL)

يعطي قياسا مباشرا لقيمة الموجة التوافقية نسبة إلي الموجة الأساسية بالعلاقة :

$$IHL = V_h / V_1 \quad (4\text{-}18)$$

عادة ما نكون في حاجة إلي هذا المعيار المباشر في مجال التعامل مع الموجـات التوافقيـة وتحـدد المواصفات الاختيارية الحدود القصوى للموجات التوافقية سواء للمستهلك أو في شبكة التغذية وهي ما تظهر من الشكلين ٤-٩ و ١٠ لخصائص دائرتي التوالي والتوازي مع تغير الذبذبة وهي :

١- حدود تشوه التيار Current Distortion

يتم ذلك من خلال قياس التشوه الكلي المخصص المطلوب Demand Distortion وهو يعادل القيمة عند أقصى حمل أو من خلال قياس مستوى التشوه لكل موجة توافقية علي حدة .

٢- حدود تشوه الجهد Voltage Distortion

يعتمد كلية علي الشبكة والتي عادة تتبع شركات الكهرباء وهي المسئولة عن هذا التواجد ويجب طلـب التعديلات اللازمة عند الضرورة .

٣- حدود نقرات الجهد Voltage Notches

تحدث هذه الحالات عند التعامل مع مبدلات القدرة الاستاتيكية ومحطات التوحيد للتيار العاملـة مـع الشبكة .

ثانيا : القضاء علي الموجات التوافقية Harmonic Damping

تستطيع الشبكة الكهربائية مجابهة قدر (ا) من الموجات التوافقية مع الحفاظ علي الجهد عند القضبـان دون تأثيرعلي المستهلك ويمكن إرجاع ذلك إلي انخفاض معوقة الشبكة نسبة إلي تلك التـي تخـص الأحمال بالرغم من أن هذه الموجات المتداخلة قد تؤدي إلي :

١- الخروج عن حدود المواصفات القياسية في هذا الشأن .
٢- وضع احتمالات ظهور حالات رنين توافقي بالدائرة .
٣- التأثير علي مقدمة موجة الجهد .
٤- التداخل الضار مع شبكة الاتصالات أو المعلومات المجاورة.

كي نستطيع التغلب علي ظاهرة الموجات التوافقية نحتاج إلي أسلوب علمي للتحكم في هذه الموجـــات وإخراجها من دائرة التشغيل ويتم ذلك من خلال القنوات العلمية في محورين (الشكل ٤-١١) هما :

أولا : محور الإخماد damping

حيث تقليل القيمة القصوى لكل الموجات التوافقية بسرعة من أجل منعها من الظهور أو تقـــل فـــترة تواجدها وهو واحد من أهم الأسس التي نتعامل معها في الشبكات الكهربائية مما يعني إمكانية خفـض الموجات التوافقية التي تنتج عن خصائص الأحمال وهي ما تمثل الموجات التوافقية بالنسبة للتيار وهو ما يمكن أن يتم بخفض الجهد المسلط عليها أو التحول من توصيل الدلتا إلي النجمة غير المؤرضة في نقطة التعادل أو بإدخال إزاحة للزاوية بقدر ٣٠° للموجات العاملة مع دوائر التوحيـــد بـــالقنطرة علـــي محولين مما يؤدي إلي التخلص من الموجات السابعة والخامسة أيضا بقدر الإمكان .

ثانيا : محور العزل isolation

حيث ننشأ دوائر مغلقة من خلال الرسم الكهربي للشبكة وخصوصا لنوعيات محددة منها كي تدور هذه الموجات التوافقية داخلها فقط ولا تخرج إلي بقية أجزاء الشبكة فتقلل من خطرة تواجدها وهو ما يتـــم من خلال :

١- نستعين بالمرشحات Harmonic Filters وهي المكونات التي تمتص الموجـــات التوافقيـــة ومنـــها مرشحات تصمم خصيصا للتخلص من موجة محددة الرتبة وتمنع دخولها إلي الشبكة أو إمداد الحمـــل بها وهي التي توضع بجوار الحمل علي التوازي مباشرة بينما توجد مرشحات تعمل علـــي التوالـــي بالدائرة كي تقوم بالتعويض عن التوافق وتحويله إلي رنين أحيانا فيمنع دخول التوافق إلـــي الشـــبكة ولكنها باهظة التكلفة لصعوبة عزل مكوناتها كهربيا كما أنها تساعد علي تشوه موجة الجـــهد ولكنـــها وسيلة جيدة للدخول مع التيارات المتسربة إلي الأرض.

٢- تغيير تجاوب الشبكة مع التردد المحدد بالمكثفات والمفاعلات الموجودة بها ويتم ذلك من خـــلال المرشحات مع تعديل التجاوب مع الشبكة بأي من الوسائل التالية:

أ) مرشحات التوازي والتي تمتص الموجات التوافقية بجانب العمل علي زحزحـــة الـــتردد الأساســـي للرنين في الشبكة بعيدا عن قيمته الأصلية فتبتعد الشبكة عن حدود الرنين التوافقي كما يظهر مثلا فـــي الشكل ٤-١٢ لدائرة بها ثلاث دوائر رنين.

ب) تغيير مقننات المكثفات المستخدمة وهو ما يعتمد كلية علي دراسة منحنى الأحمـــال كمـــا ســـبق الإشارة إليه كي تتحدد حدود الحركة في الأحمال الظاهرية غير الفعالـــة وبالتـــالي مقنـــن الترشـــيح المطلوب .

ج) تبديل نقاط ومواقع مكثفات التعويض بالشبكة للبعد عن الرنين بل تؤدي إلي التخلص منه كما سـبق شرح الأسس النظرية لهذا التعامل كما أن هذا الأسلوب قد يحدث عند النقل من منسوب قصر عـــالي إلي مستوى أقل وهو ما قد نحصل عليه بنقاط رنين جديدة بديلة (شكل ٤-١٣) .

د) دمج الرنين بإدخال مفاعل De-tuning بالدائرة لتغيير الخواص والتفاعل المباشـــر بيـــن الشـــبكة والأحمال وهو ما يمكن فهمه من خلال الخواص الذبذبية لدائرتي التوازي والتوالي كما في (الشكل ٤-١٢) حيث يعرض الرسم خصائص الممانعة ومقلوب المعوقة لكلتا الحالتين مع إهمال المقاومة الفعالة في الدائرة كما سبق الشرح من قبل .

علي سبيل المثال إذا كانت الدائرة الكهربية بالشكل المعروض في (الشكل رقم ٤- ١٢) فنحصل علـــي الخصائص الذبذبية علي المنوال المبين في (الشكلين ٤- ١٣ و ١٤) والذي نستنتج فيه الممانعة الكليـــة للدائرة وفيها نقاط الرنين المختلفة والتي توضح بجلاء أن نقاط الرنين للدوائر الأصليـــة (تـــوازي أو توالي) تتغير مع هذا الدمج مما يجعلنا قادرين عل توجيه نقطة الرنين إلي موقع أخر مـــن الذبذبـــة ، وهذا بالنسبة لجميع رتب الموجات التوافقية مع الرنين ففي الدائرة تظهر ثلاثة دوائر أثنين بهما رنيـــن

توالي مثل الفرع X1 & C1 والفرع X3 & C3 وواحدة توازي وبها الفرعان X2 & C2 (الشكل رقم ٤-١٥).

للحصول علي نقاط الرنين الكلية لمثل هذا الحمل مع الشبكة كدائرة مكافئة نجد الخصائص كما في الشكل رقم ٤-١٥ وكما يتضح من الشكلين رقم ٤-١٤ و ١٥ أن قيمة الذبذبة لتوقيت الرنين قد تتغير وتتبدل تبعا لمكونات الشبكة والمؤثرات عليها حيث تمت زحزحة الرنين مع كل إضافة لفرع من الشبكة إلي بقية الخواص وبالتالي نستطيع التعامل بشكل أكثر وضوحا مع الشبكة للتخلص من هذه الموجات التوافقية .

٤-٤ : محطات توحيد التيار Rectifier Stations

تعتمد نظرية التوحيد الكهربي للتيار علي الموحدات Diodes حيث تعمل علي تحويل التيار الكهربي المتردد AC إلي تيار مستمر DC وقد عملت بنجاح بالنسبة للتيار الخفيف واتجهت الأنظار نحو رفع قدرة هذه الدوائر ففي السبعينات ارتفعت القدرات باستخدام موحدات الزئبق Mercury Arc Rectifiers ولكنها كانت محدودة لثلاث أسباب هي التكلفة المرتفعة وأسلوب التحكم وكذلك طريقة التبريد وهي ما عرقلت تقدم هذا النوع من التوحيد ، ونرى في (الشكل رقم ٤-١٦) نوعية تخطيطية لهذا النوع متعدد الثغرات Multi gap Valves حيث عددا من الأقطاب Grading Electrodes (حوالي ٢٠ لجهد ١٢٥ ك. ف.) قد وضعت داخل وعاء أسطوانة العازل Porcelain Cylinder والموصلة بموزع الجهد Capacitive Resistive Voltage Divider خارجه للتحكم في الجهد وهو من المقننات التي تتراوح بين ١٢٠-١٥٠ ك. ف. بتيار ١,٨ ك. أ. ويكون القطب الموجب له ٦ قناطر عادة Pulse Bridge ولكنه معيبا بظاهرة الجهد الراجع (خلفي) Reverse Voltage وهو ما يضيف من الأحمال والتأثير الديناميكي Dynamic Effect علي المحولات المغذية له .

لهذا سوف نستعرض الموضوع من شكله العام في محاور متعددة نضعها في السطور التالية :

أولا : محطات التوحيد بوحدات الثيرستور

قبل السبعينات بدأ استخدام الثيرستور Thyristor بديلا لموحدات الزئبق في توحيد التيار والتي وصلت إلي مقننات مرتفعة نسبيا حيث وصل التيار إلي ٣ ك. أ. بجهد ٥ ك. ف. أي بقدرة ١٥ م. ف. أ. كما يمكن رفع القدرة هذه بزيادة التيار من خلال التوصيل علي التوازي والجهد من خلال التوصيل علي التوالي وهو ما يعتبر إضافة جيدة لتحسين الأداء ومازال العمل مستمرا نحو التطوير . ولهذه النوعية من المحطات عددا من المتطلبات هي :

١- ضرورة تواجد جهد أمامي Forward Voltage منخفض القيمة أثناء مرور التيار.

٢- أهمية رفع الجهد الخلفي Reverse Voltage في عكس اتجاه التيار بحيث لا يقبل الانكسار كهربيا تحت ظروف التشغيل المحتملة .

٣- تقصير فترة التنعيم Time Constant المطلوبة للموجة الخارجة كي تصبح تيارا مستمرا بدون موجات توافقية .

٤- أهمية التحكم التام في لحظة الاشتعال Firing Instant .

٥- الالتزام بوضع الوقاية ضد تجاوز الحمل للوقاية Over Load Protection ضد الأخطاء سواء كانت داخلية أو خارجية .

وهي تعتمد علي قطبي التوصيل أي الموجب Anode والسالب Cathode في منظومة رباعية PNPN إضافة إلي بوابة Gate تتحكم في التوصيل ومرور التيار Firing وتعرف هذه النوعية باسم Silicon Controlled Rectifier ويعتمد مقنناتها علي جودة بلورات السليكون كما أن التوصيل علي التوالي يساعد علي التخلص من مشكلات الجهود الزائدة الفجائية Transient Voltages ويسهل من وسائل الوقاية ويزيد من المقننات ويقلل من التكلفة أيضا وهي عموما تركب في داخل قاعات Indoor

أو صالات لمنع تأثير الرطوبة Contamination والأتربة Dust ويتم توصيلها إما فردي أو مـــزدوج أو رباعي ويتم العزل بالهواء والتبريد Cooling بعدة وسائل منها الهواء أو الماء أو الزيت أو الفـــيريون Fereon والمياه تساعد علي خفض القدرة المفقودة عموما ويظهر في (الشكل رقـــم ٤-١٧) منظومـــة قياسية لهذا النوع حيث تستقبل الإشارة الضوئية Optical Signal من جهد الأرضي للتحكم في لحظـــة الاشتعال يعطي (الشكل رقم ٤-١٧) بيانا عن كيفية أداء الصمام حيث تأتي الإشـــارة الضوئيـــة مـــن المتحكم في تشغيل دوائر التوحيد خلال الكابلات الضوئية Fiber Optical فتدخل إلي وحـــدة منطقيـــة Logic Unit وهي التي تحصل علي الطاقة من منبع القدرة المبين بالرسم ومن ثم تقوم علـــي تشـــغيل البوابة بينما يحس الموحد بالجهد الزائد حماية للثيرنتور وذلك بتوليد نبضات فتح البوابة Gating وهـــو واقي له إذا ما فشلت الوحدة المنطقية في عملها . كما يمكننا ضبط الجهد وبالتالي لحظة التشغيل حيث تقوم الممانعة المشبعة Saturable Reactor بحماية الجهاز ضد زيادة التيار حيث تمثل ممانعة متغـيرة القيمة ولها ملفات تحكم في التيار المستمر ولحظة فتح البوابة بجانب مجموعة من ملفات التيار المتردد علي القلب المغناطيسي ، فيكون التحكم في مستوى التشبع عادة لتغيير قيمة الممانعة من خلال التحكـم في التيار المستمر المار بالملف الخاص به وتعطي القيمة القصوى عندما يتلاشى التيار وأدنى معوقـة مع أقصى تيار كما تتيح فرصة الضبط الدقيق بمحاكاة التيار الأصلي. ويمثل (الشـــكل رقـــم ٤-١٨) خصائص أداء هذه الممانعات حيث تعتمد علي قيمة التيار المستمر فتتغير قيمة التيار مع الجهد ويعطي الشكل (أ) هذه العلاقة عندما يقوم التحكم علي المدى الكامل للتشبع بينما الشكل (ب) يقدم هذه الخاصية عند التعامل جزئيا مع مدى التشبع .

وهناك أيضا تلك الممانعات المتشبعة ذاتيا Self Saturating Reactors والتي تستخدم مـــع الموحـــدات بشكل القنطرة حيث ملفات التيار المتردد توصل علي التوالي مع الموحدات لكل وجه لتسمح بمـــرور التيار المستمر فقط أي في اتجاه واحد فقط وتظهر خصائص تشغيله كما في (الشكل ٤-١٩) وبذلك يتم التغلب علي سرعة الأداء ولكنها مازالت بقدرات أقل ، كما يمكن التعامل مع هذه الخصائص من خلال الضبط المتدرج المسبق Step Voltage Regulator لتشغيل وحدات السليكون المعروفة وهي الشائعة في هذا المجال. بينما نرى في (الشكل رقم ٤-٢٠) نظرية التوصيل عندما يستقبل كل ثـــيرنتور إشـــارة مستقلة ففي الحالة العادية ترسل مجموعة واحدة من الإشارات الضوئية إلي كل صمام في كـــل دورة كاملة وهي التي قد تزيد إذا ما انخفض التيار المستمر نتيجة تقطيع إشارة موجة التيار .

من هنا كان من الضروري الاهتمام بكل من التيار والجهد عند تصميم مثل هذه الدوائر ســـواء فـــي الحالات المعتادة للتشغيل أو الحالات الطارئة مثل الفجائيات الداخلية والناتجة عن عمليات التوصيـــل والفصل أو الخارجية نتيجة القصر في الدوائر الكهربية Short Circuit خارجيا سواء في دوائر التيـــار المستمر أو المتردد ، ففي جهة التيار المتردد تظهر الزيادة في التيار مما يتحتم معه عدم زيادة قيمتـــه عن المقنن لتشغيل الدائرة والصمام وهو ما قد يعتمد علي معوقة الدائرة ككل بالإضافة 'إلـــي التيـــار المتسرب Leakage Current من المحول المغذي له وقيمته تصل إلي ١,٢ بالوحدة النسبية (P. U)، أما من الجهة الأخرى فنجد تجاوز الحمل معتمدا علي حجم الجهاز ودرجة حرارة المحيط مع نظام التبريد وكفاءته (الشكل ٤-٢١) . كما تنحصر عناصر الفقد في مثل هذه الدوائر الخاصة بالصمام Valve فـــي ثلاث نقاط (الشكل ٤-٢٢) هي :

١- الفقد أثناء التشغيل وعمليات الفصل والتوصيل.

٢- الفقد في أفرع التوصيل الكهربي Branches في الدوائر وكذلك المخفض وهو ما نحتاجه للتحكـــم للتغلب علي ارتفاع الجهد نتيجة التوصيل المتتالي بواجد التأثير السعوي للتيار المتسرب بالدائرة .

٣- الفقد في الطاقة اللازمة للتبريد حيث يبين (الشكل رقم ٤-٢١) منظومة التـــبريد المتتـــالي لرفـــع الكفاءة سواء كان النظام مغلق أو مفتوح .

ثانيا : وسائل الوقاية والاختبار

أما عن الوقاية اللازمة Protection لمثل هذا الصمام فتنحصر في خمسة نقاط هي :

١- الوقاية ضد الجهد الزائد Over Voltage والناتج عن عمليات التوصيل Switching المتتالي داخليـــا أو الزيادة الناتجة عن التأثير الديناميكي Dynamic Process أو الرنين التوافقي Harmonic Resonance منخفض القيمة أو خارجيا من الصواعق Surges والتفريغ للشـــحنات Lightning Strokes ويســتعان بمفرغ الشحنات Arrester في هذا الغرض.

٢- الوقاية من مقدمة الجهد Front Wave عند التحكم في زاوية الاشتعال حيث يستخدم صماما موحـــد Diode علي التوازي للتخلص من هذا التأثير .

٣- الوقاية من زيادة التيار Over Current وهو ما ينتج عن قصر في دوائر التيار المتردد أو المستمر حيـــث تتم الحمايـــة ضـــد التوصيـــل مـــــع الأرض Earth Leakage عـــن طـــريـــق الوقـــايـــة التفاضلية Differential Protection للتيار المستمر وهي ما تعمل علي محوري الإخطـــار بـــالإنذار Alarm أوالفصل للمكان المعيب Tripping .

٤- الوقاية من الزيادة في درجة الحرارة Temperature Rise وهو ما يحتاج إلي وضع دوائر تـــبريد احتياطية عند ارتفاع درجة الحرارة .

٥- الوقاية ضد زيادة الحمل Over Load حتى لا يتعدى التيار عن المقنن تبعا للمواصفات

وتحتاج هذه النوعية من النظم إلي اختبارات تبعا للمواصفات القياسية علي النحو التالي :

النوعية الاولى : اختبارات العزل الكهربي Insulation Tests

١- اختبارات مكونات الصمام Structure Tests

أ) جهد الكورونا تيار مستمر Corona Voltage

ب) جهد النبضة Impulse Voltage ومنه نوعان نبضة التوصيل Switching Type ونبضة الصواعـــق Lightning Type وهى الاختبارات الأساسية والهامة لضمان سلامة العزل الكهربى للملفات الكهربيـــة عموما.

٢- اختبارات جهد العزل Withstand Voltage Tests

أ) جهد العزل Withstand Voltage ومنه نوعان للجهد المستمر DC والجهد المتردد AC

ب) جهد النبضة Impulse Voltage Test ومنه ثلاث أنواع وهي نبضة التوصيـــــل Switching Type ونبضة الصواعق Lightning Type ونبضة مقدمة الموجة Front Impulse

ج) جهد الاشتعال غير الدوري Non Periodic Firing Test

النوعية الثانية : الاختبارات الدورية Routine Tests

١- اختبارات قياسية Typical Tests

أ) اختبار التيار ومنه نوعان الأول هواختبار القصر بدون الجمع S. C. without blocking test بينمـــا الثاني يختص بمدي إمكانية المشاركة في التيار Current Sharing Test .

ب) الاختبـــار الحـــراري Thermal test ويشمـــل نـــوعـــان هـــمـــا للـــوعـــاء الخـــارجـــي للثيرتـــور Case Temperature rise ولتشغيله Heat Run Test .

ج) أدني جهد تشغيل Minimum AC Voltage .

د) اختبار التيار المستمر Intermitted DC .

هـــ) اختبار الفقد Losses Test .

٢- اختبارات عينات Sample Tests

أ) اختبار الاشتعال Firing Test .

ب) اختبار التتابع الفصلي Extinction .

ج) اختبار القصر مع الجمع S. C. with blocking test .

بتجميع دوائر الصمامات علي التوازي نستطيع الحصول علي موقع شامل لمحطة تحويل التيار منAC إليDC كما يمكن إضافة التعامل معها لتقوم بالعمل العكسي في التحويل وتعرف هذه المحطات باسم محطات التحويل Converting Stations ويمثل (الشكل رقم ٤-٢٢) مكوناتها وتشمل وحدة التحويل ومحول التحويل ومرشحات للموجات التوافقية Harmonic Filters كما في (الشكل رقم٤-٢٢) إضافة إلي مساعدات أخرى مثل منبع القدرة الظاهرية Reactive Power Source والقدرة الإضافية Auxiliary Power وممانعات التنعيم Smoothing Reactors علي التيار المستمر وتوجد أيضا مرشحات للموجات التوافقية سواء كانت توازي أو توالي وتوضع علي الجانب للتيار المستمر قبل المحولات .

ثالثا : التحكم في الجهد Voltage Control

يتم التحكم الآلي لهذه الوحدات الكهربية من خلال عدة طرق منها ما تم التعرض إليه مسبقا مثل الممانعة المشبعة أو تلك الذاتية أو الضبط المتدرج ومنها ما سوف نضعه موجزا في السطور التالية مثل الضبط الحثي Induction Regulators حيث يستعان به في الدوائر ثلاثية الأوجه معتمدا علي خصائص المحركات الحثية الدوارة ويتم إثارة العضو الدوار من المنبع والمتصل علي التوالي في الدائرة الأصلية وبذلك يعتمد الجهد المثير علي الوضع النسبي بين العضوين الثابت والدوار مشابها في ذلك النظام المتدرج ولكنه بدون خطوات محددة أي يكون التغير مستمرا بدون خطوات ويعيبه الاعتماد علي الثابت الحركي والذي ينعكس علي الاستجابة السريعة لمتطلبات الضبط ولهذا لا يستخدم مع الجهد أعلي من ١٥ ك. ف. وينحصر استخدامه للقيم الصغيرة من التيارات ومع الأحمال الثابتة .

الثيرثتور كوحدة سليكون متحكمة في عمليات التوصيل والفصل تسمح للتحكم في الجهد بدون الحاجة إلي منبع آخر فهو يوقف الجهد العكسي عن مرور التيار بينما يسمح بمروره مع الجهد الأمامي وهو في ذلك يشبه الموحدات السليكون التقليدية تماما حيث يستقبل الطرف الثالث (البوابة Gate) الإشارة التي تسمح بذلك في الاتجاه الأمامي فقط وهي بذلك تعمل مع كل دورة في الذبذبة المترددة مما يتسبب معه تأخير بسيط في لحظة التوصيل وبذلك تعطي الفرصة للتحكم Phase Control في عملية التوصيل كلها (الشكل رقم ٤-٢٣) وهو بذلك يتحكم في الجهد المستمر الناتج بعد عملية التنعيم المطلوبة له ولذلك يلجأ المتخصصون إلي التعامل مع الدوائر المزدوجة ثلاثية الوجه حيث يتغير الجهد تبعا لزاوية التوصيل ونوعية التوحيد المتبعة أو نوع الحمل علي الدائرة .

٤-٥ : مشكلات الجهد Voltage Problems

من المحتمل ظهور الموجات التوافقية في حالات عدم الاتزان أو مع التشغيل غير السليم لبعض المكونات ولهذا نستعرض موضوع استقرار Stability الشبكة الكهربية من ناحية الجهد Voltageعند النقاط المختلفة بها خصوصا وأننا نتعامل مع أحمال Loads متباينة ومتغيرة لجهد التوزيع والاستغلال ٣٨٠ / ٢٢٠ ف بل وقد تختلف كلية في تأثيرها علي التوليد الكهربي Generation أو الذبذبة Frequency الخاصة بها ولهذا سوف نبدأ بحالات التشغيل الخطأ أو غير المستقر علي النحو التالي :

أولا : حالات القصر Short Circuit Conditions

هذه هي التي تنقسم إلي نوعين هما :

١- القصر المتماثل Symmetrical

يتنوع إلي نوعين هما قصر جميع الأوجه معا سواء مع الأرض أو بدونها وفي الحالتين لا يظهر التيار الصفري Zero Sequence علي وجه الإطلاق ويرتفع التيار إلي أعلي قيمة له Current Magnitude كما لا تظهر المركبة السالبة Negative Phase Sequence نهائيا .

٢- القصر غير المتماثل Unsymmetrical

هنا يبدأ التباين بين شكل القصر ولا يستوي لجميع الأطوار ولذلك توضع في محورين كما يلي في السطور القادمة حيث يظهر في كل الأنواع هذه المركبة السالبة من الثلاث مركبات المتماثلة والمعروفة رياضيا وهما :

المحور الأول : قصر مع الأرض Earth Faults

يتمثل في اتصال وجه واحد مع الأرض أو وجهين مع الأرض ويظهر في الحالتين التيـار الصفـري بجانب المركبة السالبة .

المحور الثاني : قصر بدون الأرض Isolated Faults

يتطابق مع النوعين السابقين ولكن بدون الأرض ولذلك لا يتحدد فيه إلا المركبة السالبة وتكون هـي الوسيلة الوحيدة لتحديد وجودها .

من المحورين نستطيع التفرقة بينهما بتواجد المركبة الصفرية من عدمه بجانب المركبة السالبة .

ثانيا : التشغيل الخطأ Bad Operation

يمثل التحميل هنا عاملا مباشرا في هذه النوعية ومن ثم نضعها في الشكل التالي :

١- التحميل غير المتزن بشكل كبير High Unbalanced Loading

يحدث هذا نتيجة تحميل أحد الأطوار بشدة دون غيره مما يجعل نقطة التعادل ذات جهد عالي والتـي كان يجب أن تكون صفرية الجهد وما قد يسببه ذلك من أضرار

٢- هروب الجهد Voltage Disappearing

هو حالة هامة جدا وتظهر في شبكات التوزيع وهو ما نستعرضه فيما يلي حيث تنتج حالة عدم الاتزان من وضعين فالأول يأتي من جهد التوليد لعدم اتزان حركة دوران المولدات والذي قد يكون من البداية غير متزن بينما الثاني يتولد نتيجة التحميل غير المتزن كما تمت الإشـارة إليـه وكـلا الوضعيـن مرفوضين حماية لاستقرار الشبكة وحتى نضمن استقرار الجهد عند نقاط تغذيـة الأحمـال ، وهـذا الاتزان يأتي عادة من العلاقة الثنائية بين كلا من الجهد والقدرة الفعالة كما نشاهدها في (الشكل رقـم ٤-٢٤) ويسمى هذا المنحنى تبعا لمنظره منحنى الأنف فيظهر قيمتين للجهد مقابل القيمـة الواحـدة للقدرة ومن ثم لا بد وأ، تكون إحداهما مستقرة والأخرى غير ذلك ولهذا نجد المستقرة هي التي تقـابل القيمة المعقولة بينما الأخرى تظهر مع الانخفاض الشديد في الجهد وهو ما يفيد بأن الجزء الأعلى مـن المنحنى الذي يتناقص مع تأخر معامل القدرة هو المستقر حتى يصل إلي أقصى نقطة علي المنحنـي وهي الأنف والتي تعتبر النقطة الحرجة بينما الباقي الذي يليها غير مستقر نتيجة للفقد الشديد للجـهد في الشبكة وهذا الجزء غير المستقر يعني أن طلب القدرة أكبر من المتاح مما يسبب انخفاضا مسـتمرا للجهد والذي يصل إلي الصفر. وهذه النقطة الصفرية تعبر هندسيا عن قصر مباشر عند هذه النقطـة وبالتالي يستوجب الفصل التلقائي لأنه يمثل القصر فعلا إلا أنه قد لا تشعر به أجهزة الوقاية حتى وإن كانت هناك أجهزة الحماية بالذبذبة لأنه قد تنخفض الجهود دون خفض في الذبذبة .

ومن الطبيعي عند خروج أي من الأحمال من الشبكة فيقلل بالتبعية الحاجة إلي القدرة مخففا الوضـع فتنتقل الحالة بدلا من الوصول إلي الصفر ليعلو نوعا ما فوق الصفر وكلما خرجت أحمالا أكثر كلمـا ارتفع الجهد عن الصفر أكثر وهذا ما نستطيع أن نفهمه من (الشكل٤-٢٤). من الممكن حدوث ذلـك عندما يتم التحميل المفاجئ غير المتوقع علي الشبكة فتصل إلي النقطة الأقصى (الأنـف) أو بـالقرب منها ومع أية زيادة أخرى ندخل في المنطقة غير المستقرة هبوطا بالجهد وحتى يهرب تماما ، وترجع هذه الظاهرة إلي عددا من أسباب التشغيل التالية :

١- تواجد أحمال محركات حثية عديدة

ذلك يفيد أن مجموع الأحمال الكلية في الشبكة معا تتحول إلي حمل مباشر علي المولد فـي المحطـة وبهذا نحصل علي قدرة غير فعالة كبيرة لانخفاض معامل القدرة لها فتقلل من جهد الشبكة مرة بعـد أحرى وتظهر العلاقة الرياضية بين الزمن وكلا من القدرة والجهد في (الشـكل رقـم ٤-٢٥) عنـد انخفاض الجهد إلي ٧٠ % ثم ٥٠ % من القيمة المقننة مما يزيد من أهمية التعامل مـع مثـل هـذه الحالات وضرورة تقليل تواجد مثل هذه المحركات بكثرة في الشبكة . تزداد الكارثة سوءا إذا تم تقويم عددا كبيرا منها آنيا (لحظيا) وهو ما يسبب تحميل أكثر من ٨ أمثال القدرة المعتادة في نفس الوقـت

بهذه اللحظة لبدء التشغيل وهو ما قد يتسبب في عدم تقويم الكثير من هذه المحركات كما يبين ذلك الشكل رقم ٤-٢٥ لحالتي التقويم السليم والأخر غير الناجح وهو في هذه الأوقات قد يصل بالجهد إلي نقطة الأنف فتتحول الشبكة إلي الحالة غير المستقرة عند هذه النقطة تحديدا . علاوة علي ما سبق نجد أنه في حالة الفصل التلقائي لقصر علي قضبان بها أحمال حثية كثيرة سوف يتبعه الوصول إلي النقطة الحرجة والجهد الصفري علي التوالي ويوضح (الشكل رقم ٤-٢٤) مثل هذه التصرفات الكهربية وتأثيرها علي الجهد .

٢- أحمال ذات معامل القدرة المنخفض جدا

تسبب هذه الأحمال ارتفاعا شديدا في القدرة غير الفعالة مما تنقل التشغيل إلي القرب من النقطة الحرجة فتؤدي إلي هروب الجهد ويضاف إلي هذه النوعية تلك الأحمال ذات الطبيعة الخاصة والتي تستهلك الطاقة غير الفعالة بكثرة مثل التحليل الكهربي ويشرح ذلك (الشكل رقم ٤-٢٦) موضحا شكل التذبذب الممكن علي المولد نتيجة لمثل هذه النوعية من التحميل بينما (الشكل رقم ٤-٢٦) يبين تأثير تواجد القوس الكهربي في الأحمال وما يستدعي علاجا جوهريا للبعد عن النقطة الحرجة في المنحنى الأنفي (الشكل رقم ٤- ٢٤) .

٣- عطب أجهزة التحكم

هذا العطب قد ينتج عن توقف عمل أجهزة التحكم في موقع ما لجهد مولد ما فيتوقف التغير المتناسب معه مع التحميل الزائد وبالتالي تحرك النقطة العاملة في اتجاه الأنف علي المنحني والوصل إلي الحالة غير المستقرة كما أنه هناك العديد من الاحتمالات لحدوث العطب في أي من أجزاء الدائرة الكهربية المتحكمة في التشغيل أو في التوصيل بينها وبين مواقع الأداء لتنفيذ الأوامر الصادرة عنها إلي غير ذلك من الاحتمالات .

ولذلك يجب تجنب أي من الحالات التالية نتيجة لهذه الظواهر وما يتبعها من تأثير ضار بالشبكة الكهربية ككل وبالمعدات والأجهزة العاملة عليها إضافة إلي ما قد تصيبه من تلف لأي من أجزاء المولدات ، وهذه الحالات تتحدد فيما يلي :

الحالة الأولي : تأرجح الجهد Voltage Oscillation

يبين الشكل رقم هذا النوع من تغير الجهد بين قيم مختلفة وعدم ثبوته ارتفاعا وهبوطا حول قيمة معينة وعادة ما تكون الجهد المقنن ويرجع ذلك لتواجد الموجات التوافقية المتولدة من كثرة التعامل مع الأجهزة الإلكترونية أو لوجود خلل في أي من أجهزة التحكم فيها ، ويتغير الجهد إما نتيجة لتغير جهد المولدات أو لتغير جهد الأحمال وهو ما قد يصاحب التغير السريع في القدرة غير الفعالة وانتقالها من موقع إلي آخر عبر المغذيات بالشبكة . ويأتي ذلك لأن الجهد يتحدد في الشبكة بناء علي سريان القدرة غير الفعالة من نقطة ما إلي غيرها بينما القدرة الفعالة تسير تبعا للفرق في الزاوية بين الجهد عند نقطة وما تليها .

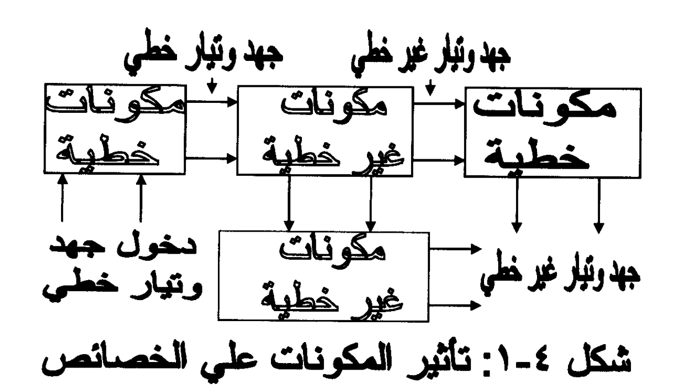
الحالة الثانية : ارتعاش الجهد Voltage Flickering

يزيد التباين بين حدود التغير في الجهد وبسرعة شديدة تؤثر علي الرؤية عموما (الشكل رقم ٤-٢٧) ويظهر نتيجة لتواجد دوائر ذات القوس الكهربي مثل الأفران التي تخص الحديد والصلب وغيرها وهذه الرعشة ضارة بالعين وقد تصيبها بالعمى أحيانا مع التكرار المستمر لها . جدير بالذكر أن دورة الزمن للتغير في الجهد في حالة الارتعاش أسرع بكثير عن تلك السابقة والخاصة بتأرجح الجهد ففي حالة الارتعاش يتغير الجهد بسرعة وينتقل من القيمة المعتدلة إلي تلك المعيبة فتظهر ذلك التغير في شدة الإضاءة أو أحيانا في عدم إنارة المصباح وعندما تتأرجح شدة الإضاءة والمتناسبة مع الجهد ترتعش الإضاءة أيضا فتسبب التأثير الضار بالعين بينما التأرجح يتم علوا وانخفاضا للجهد مؤثرا علي وضع التشغيل للمولدات وما قد ينجم بعد ذلك عن خروجها من الخدمة .

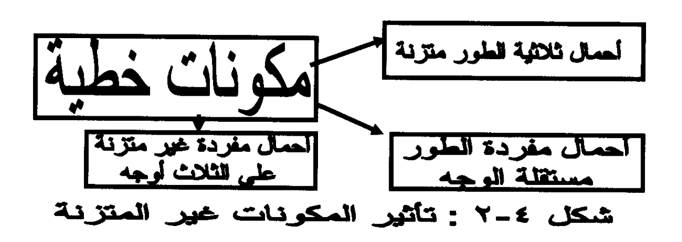
الحالة الثالثة : ضمور الجهد Voltage Collapse

يعني هبوط مفاجئ وسريع للجهد وقد يصل إلي ٤٠ – ٦٠ % من القيمة المقننة أو أقل فـــي حـــالات التشغيل الأسوأ مما يصل بالجهد إلي أدنى المستويات والذي قد يمثل رياضيا وفيزيائيا حالة من حالات القصر ويوضح (الشكل رقم ٤–٢٧) هذه الحالة .

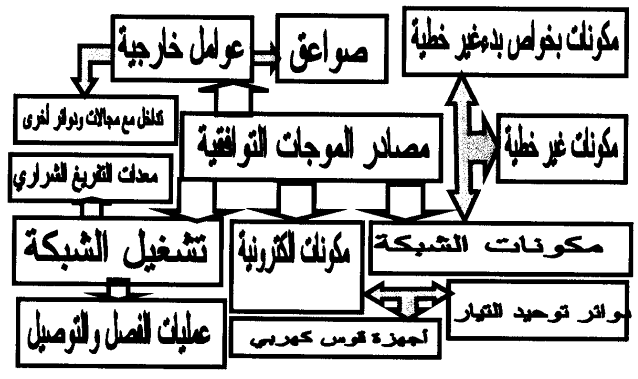
مما سبق يظهر أهمية تركيب مكثفات لتحسين معامل القدرة بالشبكة وليس بالضرورة أن تكـــون فـــي شبكة التوزيع بل يمكن تركيبها في شبكات النقل تجميعا لكل الأحمال مع الربط الزمني لقدرة تحميلـــها ومن السهل التعامل معها بالاستعانة بالحاسب الآلي للتغلب علي الوضع العكســـي لتوافـــر الأحمـــال السعوية في الشبكة وخطورتها ، ويعطي (الشكل رقم ٤–٢٧) مدى تأثير مثل هـــذه المكثفـــات علـــي سرعة المولدات والجهد لها .



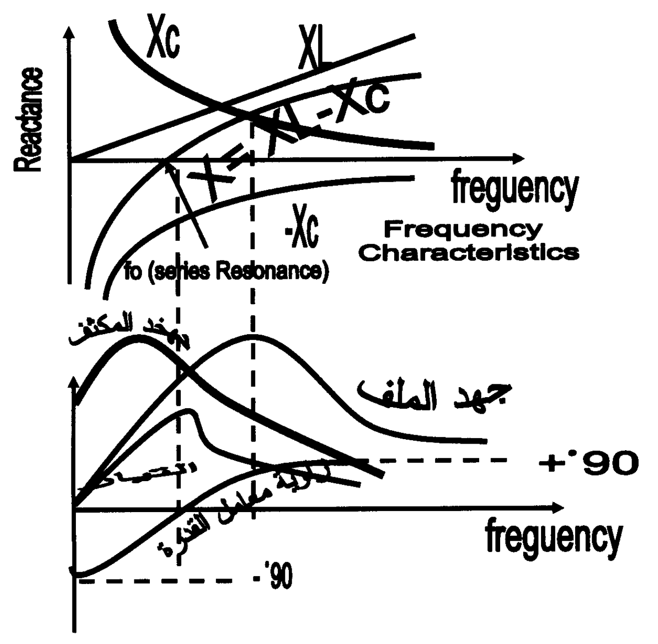
شكل ٤-١: تأثير المكونات علي الخصائص



شكل ٤-٢ : تأثير المكونات غير المتزنة

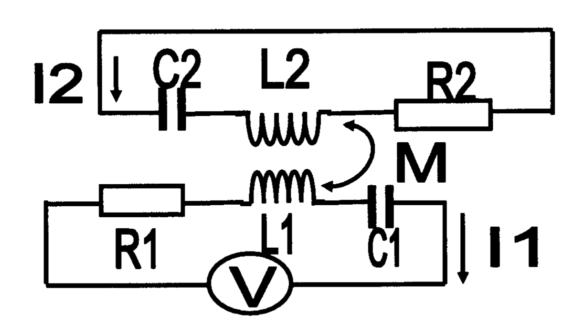


شكل ٤-٣ : مصادر الموجات التوافقية

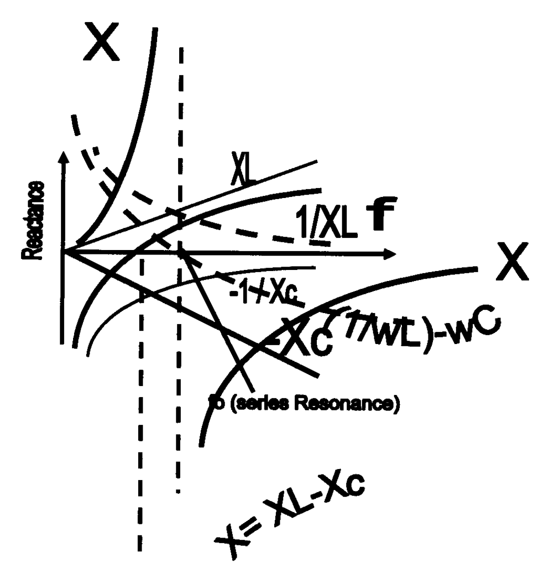


Resonance Performance

الشكل ٤-٤ : خصائص الملف والمكثف

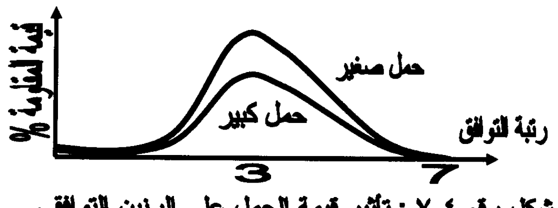


شكل ٤- ٥ : دائرة مبسطة للتداخل وتأثيره في الشبكة

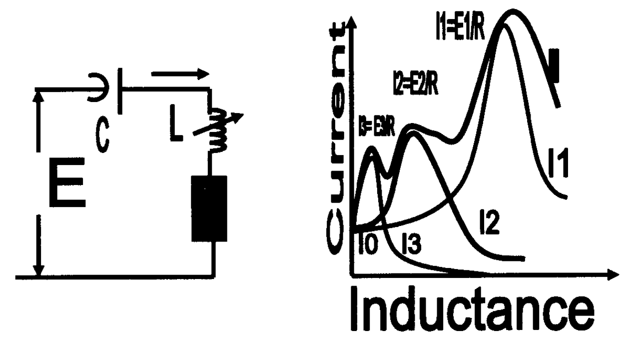


Frequency Characteristics
For parallel Circuits

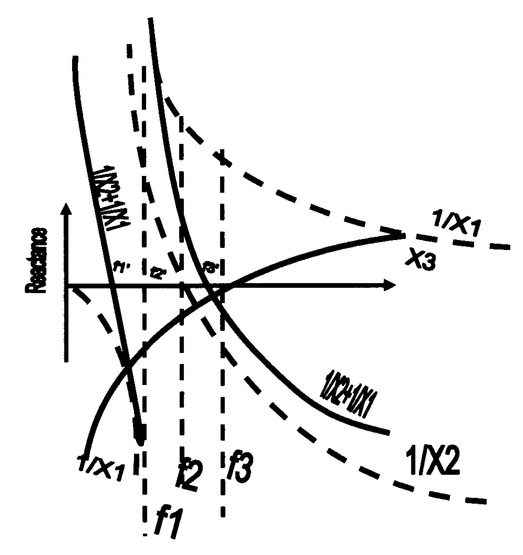
الشكل ٤-٦ : خصائص ذبذبية لدائرة توازي



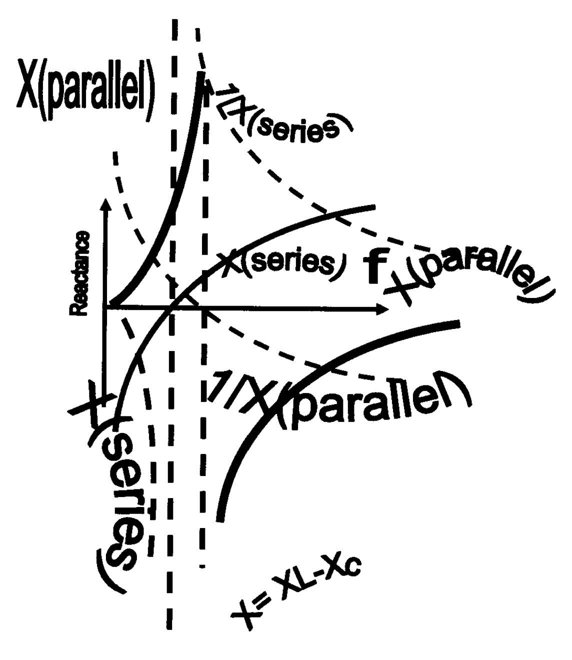
شكل رقم ٤-٧ : تأثير قيمة الحمل علي الرنين التوافقي



الشكل ٤-٨: خصائص نبذبية لدائرة رنين توافقي



الشكل ٤-٩: كيفية الحصول علي الخصائص النبذبية

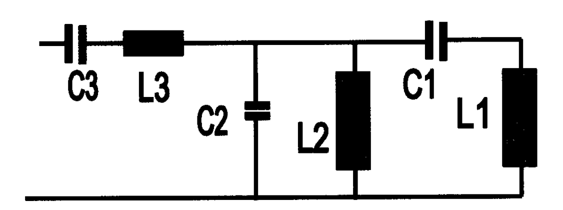


Final Frequency Characteristics
For both Circuits

الشكل ٤-١٠: خصائص دائرتي التوازي و التوالي

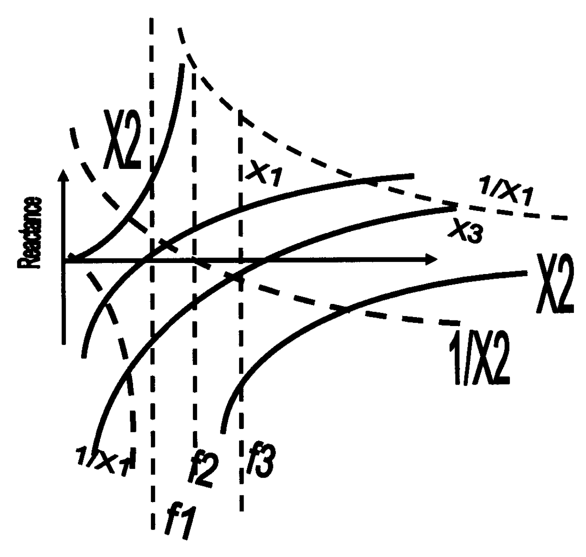


شكل ٤-١١: أسلوب التخلص من الموجات التوافقية



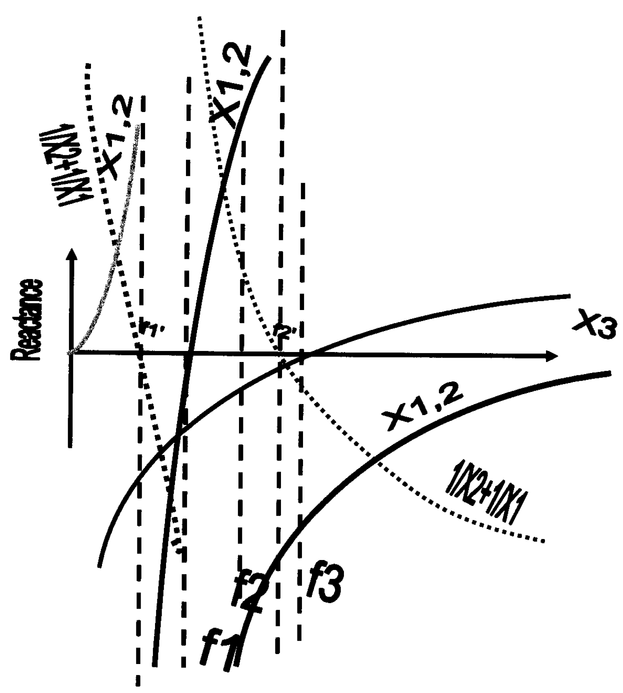
Example Circuit

الشكل ٤-١٢ : دائرة كهربية (مثال)



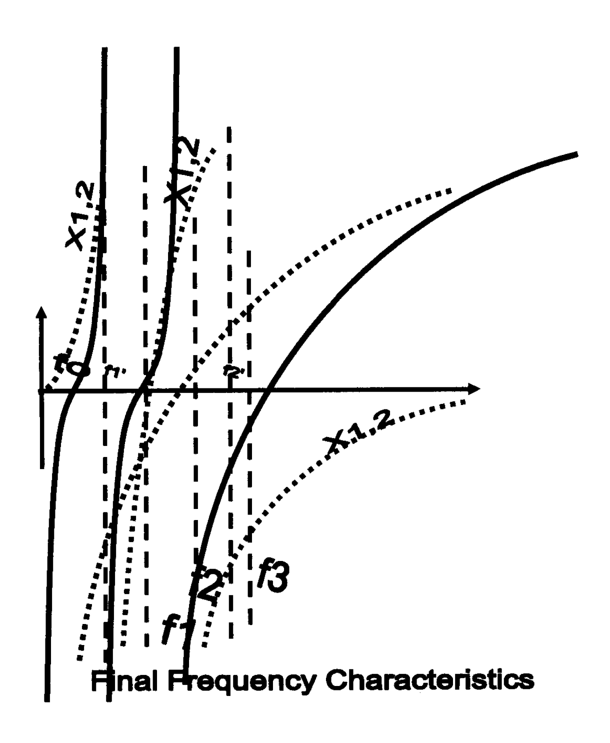
Basic Frequency Characteristics
For three Circuits

الشكل ٤-١٣ : تسلسل الحصول علي خصائص الرنين

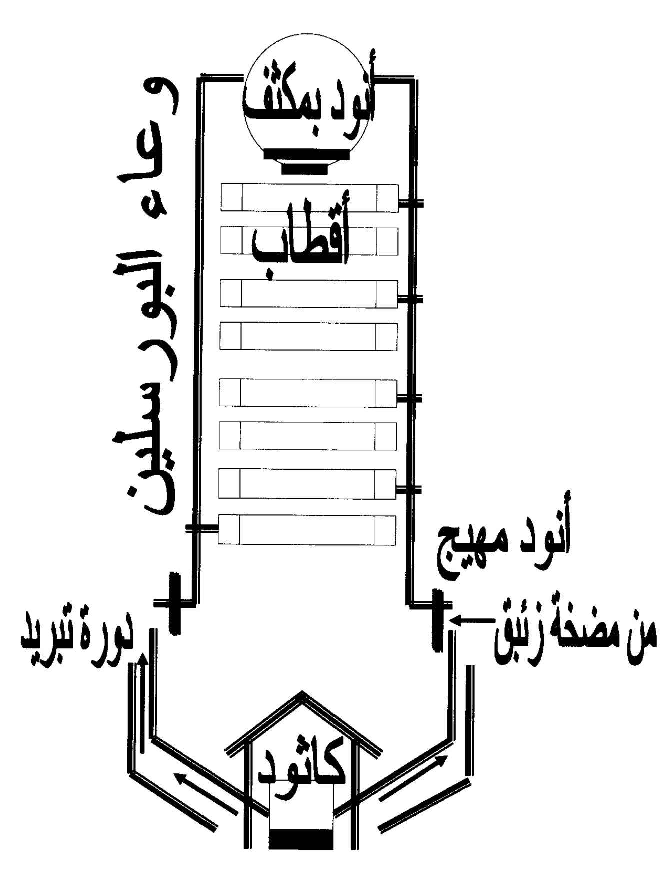


Frequency Characteristics
For Circuits 3 with 1 & 2

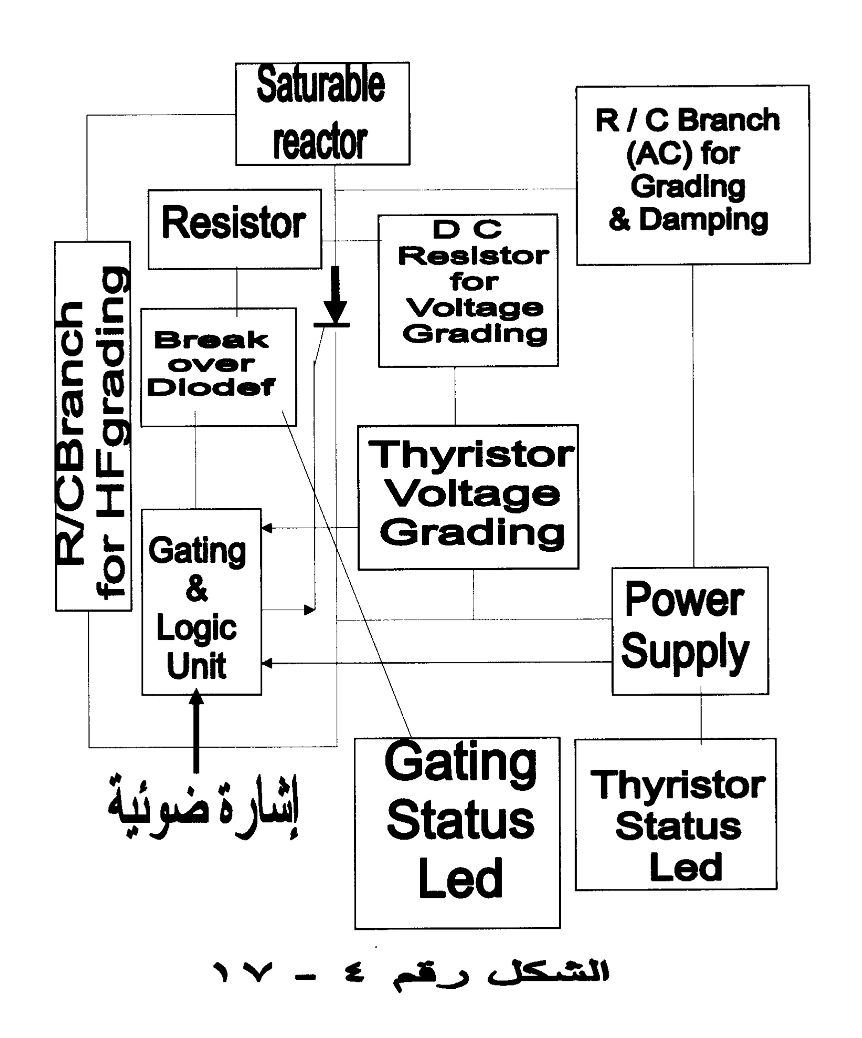
الشكل ٤-١٤ : خصائص نبنبية للدائرة



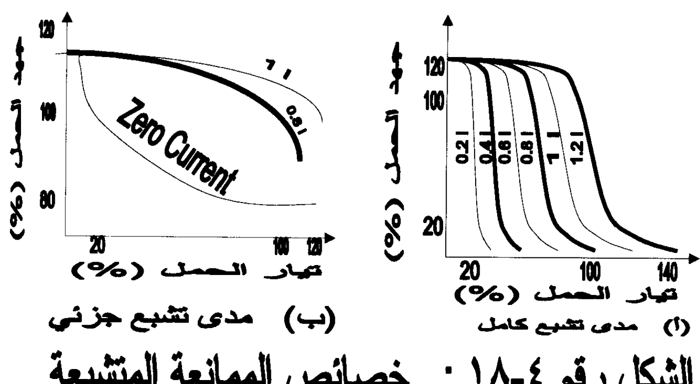
الشكل ٤-١٥ : خصائص الرنين للدائرة



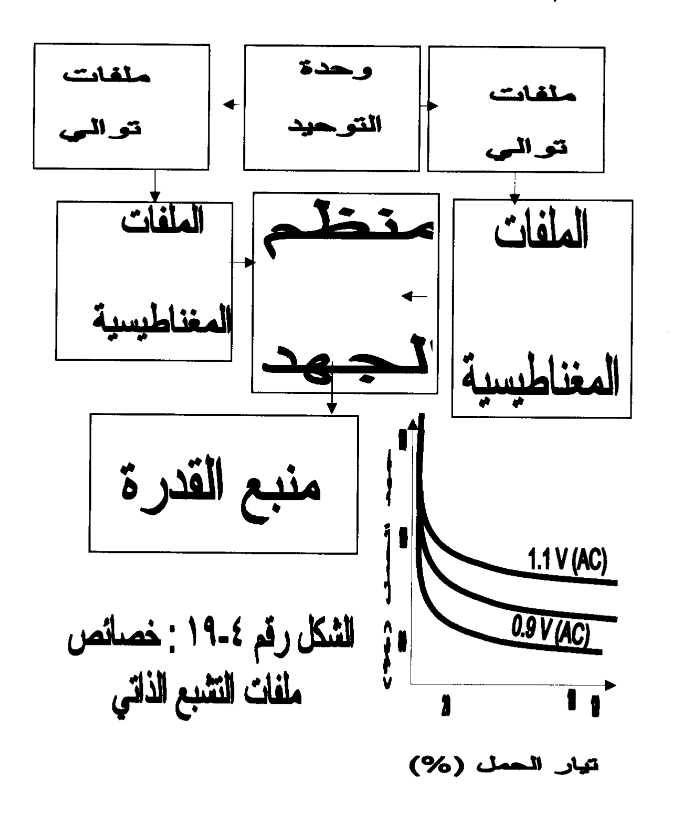
الشكل رقم ٤-١٦ : موحدات الزئبق



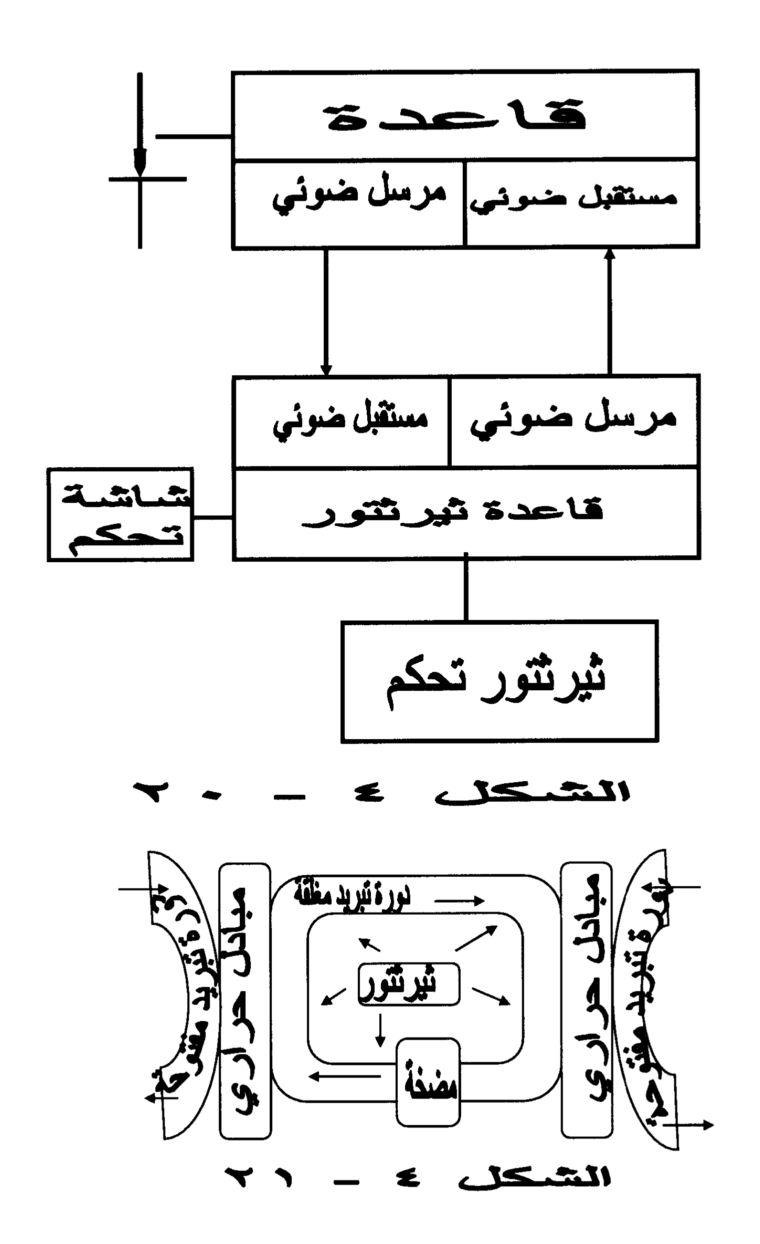
الشكل رقم ٤ - ١٧



الشكل رقم ٤-١٨ : خصائص الممانعة المتشبعة

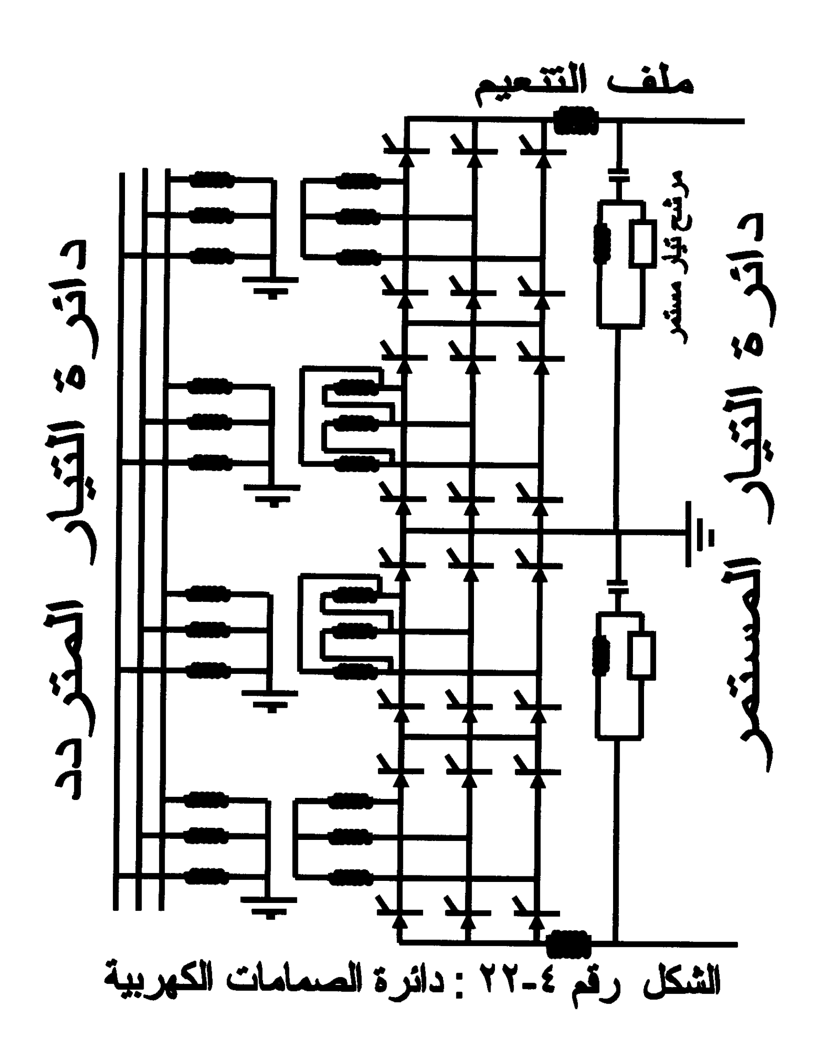


الشكل رقم ٤-١٩ : خصائص ملفات التشبع الذاتي

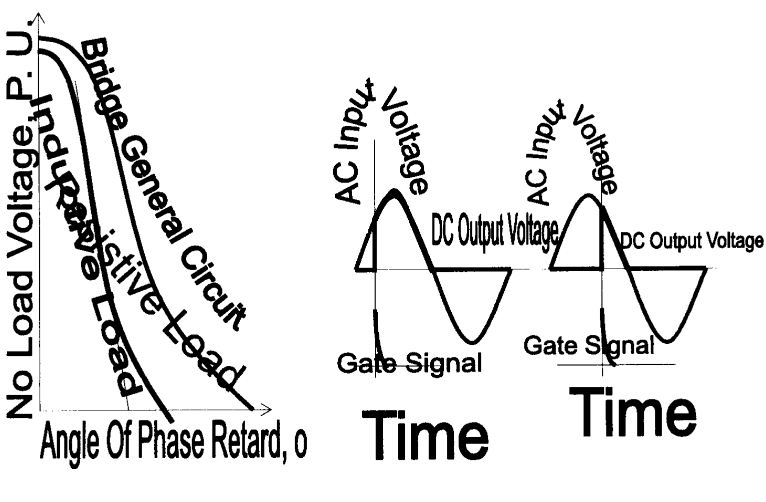


الشكل ٤ – ٢٠

الشكل ٤ – ٢١

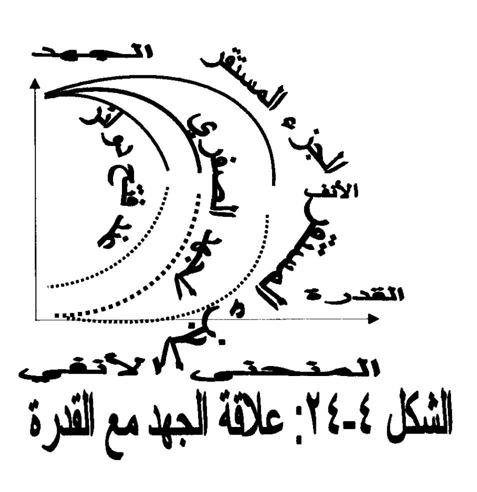


الشكل رقم ٤-٢٢ : دائرة الصمامات الكهربية

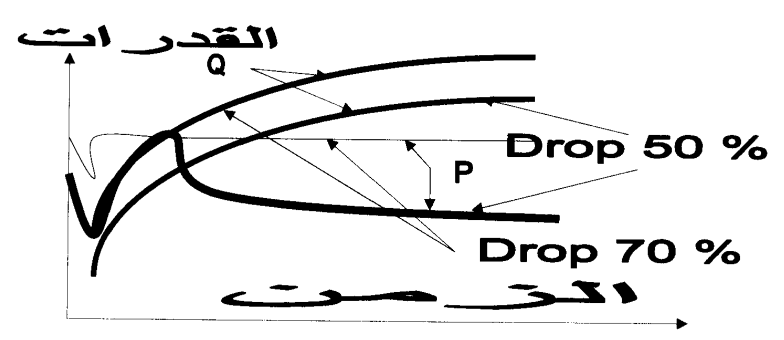


(ب) تأثير الدوائر المزدوجة ثلاثية الوجه   (أ) التحكم بزاوية الإزاحة

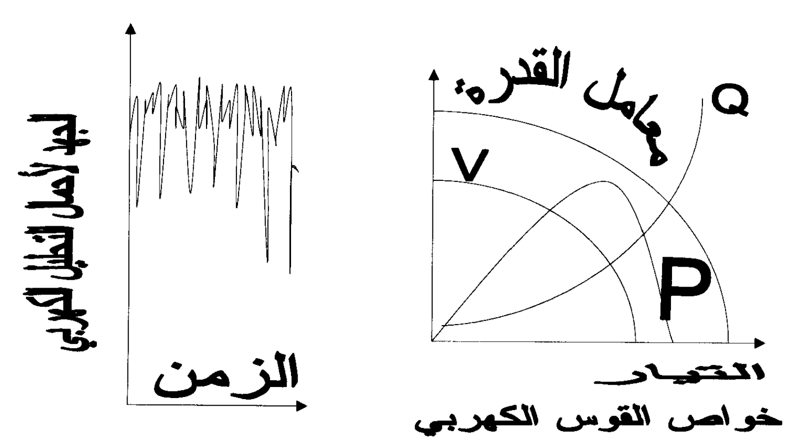
الشكل رقم ٤-٢٣ : خصائص التحكم في الثريستور



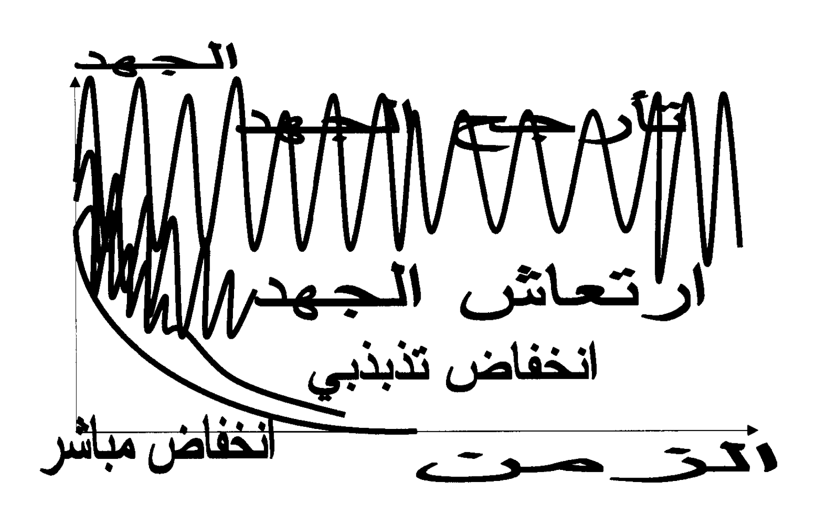
الشكل ٤-٢٤: علاقة الجهد مع القدرة



الشكل ٤-٢٥: المحرك الحثي عند انخفاض الجهد



الشكل ٤-٢٦: خصائص المكونات غير التقليدية



الشكل ٤-٢٧: أنواع تغير الجهد

الباب الخامس

المصاعد الكهربائية Electric Lifts

تعتبر المصاعد من الضروريات الهامة في التعامل مع الأبنية الشاهقة وكذلك في بعض الحالات الخاصة سواء في طبيعة العمل مثل المستشفيات أو في حالات هندسية معينة مثل أعمال التركيبات والرفع لبعض المعدات كما يتطلب تصميم المصاعد تأمينا عاليا للركاب وأن تكون الخدمة فعالة واقتصادية كما أن الحسابات الإنشائية لا بد وأن تؤخذ جديا في الاعتبار لتحمل الأحمال الديناميكية والإستاتيكية الناتجة عن تواجد وتشغيل المصعد ولهذا نجد أن المصاعد كموضوع حيوي تحتاج إلي بعض الشرح والتفصيل الجوهري نفصله بايجاز علي النحو المعروض في السطور القادمة .

٥ - ١ : المكونات Components

نتعامل مع المصاعد بشكل عام حيث نضع المكونات المختلفة للمصعد في نقاط هي :

أولا : الكابينة Car

تسمى أحيانا الصاعدة أو العربة وتتكون من هيكل معدني شديد الصلابة ويجب أن تكون خفيفة الوزن بقدر الإمكان (الشكل ٥ - ١) وتغطي الجدران بأشكال مختلفة من المادة أو النوع حسب التصميمات الحديثة ويكون لها الأجزاء الأساسية العديدة ويعتبر الباب جوهريا وله الانواع الآتية حيث أن الباب لا يقل عرضه عن ١٠٥ سم ليسهل دخول وخروج الأفراد ويمكن تصنيف العربات هذه تبعا لنوعية الباب:

أ) باب نصف آلي Half Automatic

حيث يفتح الباب باليد ويغلق تلقائيا ولا يجوز أن يتحرك المصعد إلا إذا كان الباب مغلقا تماما سواء كان الباب يعمل يدويا أو آليا ويتم التحكم في ذلك من خلال دائرة التشغيل حيث يركب جهازا خاصا بذلك علي باب العربة المتحركة.

ب) باب آلي Automatic

غالبا ما يكون متحرك من الجهتين كسبا للوقت ويعمل بنظامين هما:

أ) باب يعمل بالأشعة الضوئية Light Beam

حيث تستخدم خلايا ضوئية Photo Cell للعمل الآلي كي يتوقف الباب عن الغلق ما دامت هناك حركة دخول أو خروج عبر الباب .

ب) باب يعمل بالوزن Weight Response

يعتمد علي عتبة الباب العاملة علي الوزن طالما هناك من يقف عليها وبالتالي تمنع قفل الباب آليا .

ثانيا : أجهزة معاونة

تتمثل هذه الأجهزة فى عدد من الأجهزة والوسائل الاساسية مثل:

١ - أجهزة إشارة Signal Indications

نحتاج هذه الأجهزة لإظهار أي الطوابق يعبرها المصعد Car Position أو إن كانت الحركة صعودا أم هبوطا Car Direction Indicators وهي توضع في العربة من الداخل كما توضع علي كل طابق ويمكن إضافة إشارة لحالة الخلل والطوارئ وقد تكون ضوئية مهتزة الطابع Flickering ويمكن أن تعتمد علي بطارية في حالة انقطاع التيار .

٢ - أجهزة إنارة Light Lamps

من الضروري أن يتم تركيب مصابيح إنارة داخل الصاعدة سواء كانت من النوع المكشوف أو المغلق لإتاحة الفرصة للركاب كي يقضي احتياجاته الفورية بسهولة ولتكون مصدر أمان للراكب فيه.

٣- ووسائل استغاثة Alarm

هي وسائل هامة في حالات الطوارئ ويمكن للركاب استخدامها عند اللـــزوم مثـــل النفيـــر Horn أو الجرس Bell وذلك في المواقع ذات طبيعة العمل اليومي الكامل ووجود حراســـة عاملـــة بـــه مثـــل المصانع وأماكن العمالة عموما أو وسيلة نداء (سلكي أو لاسلكي) للباب الرئيسي للمبنى بمكبر يفتح من داخل العربة حتى وأن كانت الكهرباء مقطوعة .

٤- أجهزة اتصال

مثل التليفون أو اللاسلكي وذلك في المواقع التي تعمل بنظام الورديات المتعاقبة أي بنظام العمل اليومي الكامل .

٥- أجهزة تحريك للباب فتحا وغلقا

هذا النوع من الأجهزة يشمل المحرك الموجود عادة فوق العربة المتحركة ويتم تغذيته كهربيـــا مـــن خلال علبة التوصيل بها وهو مخصص لحركة باب المصعد ويعمل آليا بزمن محدد يمكن تخفيضه في بعض الحالات التي لا تحتاج إلي وقوف طويل باستخدام مفتاح في لوحة التحكم الداخلية بالعربة كمـــا يوجد مفتاحا للوضع المعاكس أي فتح الباب مرة أخرى بعد غلقه ، كما يتواجد أعلي الصاعدة أيضـــا مروحة كهربية لتهوية الكابينة .

ثالثا: تجميع أطراف التوصيل

الكهربائية لحماية الصاعدة ولتقصير المسافات وترتيب المسارات وهي تشتمل علي :

أ) علبة توصيل الكابلات والأسلاك الكهربية Connection Box والخاصة أيضا بالتليفونات ومجمـــوع بطاريات أو واحدة فقط تشحن بضفة دائمة وتعمل عند انقطاع التيار لوسائل الاستغاثة والإنارة الطارئة بالعربة .

ب) علبة تحكم في تشغيل العربة Control Board هي تلك التي تحتوي علي المفاتيح الخاصة بالأدوار عـــلاوة علـــي مفتـــاح بقفـــل لتشغيـــل المصعـــد مـــن عدمـــه واختيـــاري آخر لتشغيل المصـــعد يدويا Independent Service (مستقلا أو آليا تبعا للمنظومة المسجلة بالذاكرة) .

رابعا: أجهزة أمن وتأمين الصاعدة

تعتمد تصميمات الحركة في أماكن معزولة علي محورين أساسين هما:

المحور الأول :

يتمثل في فرملة احتياطية لهبوط الصاعدة المفاجئ وهو ما يتم من خلال ما يعرف باســـم البراشـــوت مثل ما يحدث مع سيارات المسابقات الرياضية أو في الطائرات ومكوك الفضاء .

المحور الثاني : باب طوارئ Emergency Door

يعتبر بمثابة مكان يمكن فتحه بسهولة في حالات الطوارئ إذا توقف المصعد بين الطوابق أو لم يفتح الباب الخاص بالعربة .

خامسا: وسائل لراحة الركاب

مثل مقابض ومساند ومرايا وغير ذلك من وسائل وقد تكون منها إذاعة محلية كما يلزمها تجهيـــزات للتهوية الطبيعية للهواء داخل العربة ومن الممكن أن تتم هذه العملية بدورة هواء بطئ الحركة وتتم هذه العملية من خلال مروحة لسحب الهواء من العربة .

٥-٢: نفق المرور Internal Tunnel

هو عبارة عن حجم الفراغ اللازم (الممر) لحركة عربة المصعد داخل المبني أو خارجه بحيث تكـــون هناك من الفراغ المضاف وهو ما يلزم لأعمال التركيب والصيانة وتركيب كافة المكونات المســـاعدة لتأكيد حركة وأمان العربة ويعرف باسم البئر في بعض الأحيان وبالتالي فهو ممر داخل للعربة بـــين الطوابق ولذلك لا بد وأن يحتوي علي الأجزاء التالية :

١- باب لكل طابق يقف عنده (الشكل رقم ٥ – ٢)

يمكن أحيانا استخدام مصعدين يكون أحدهما للطوابق الفردية والآخر للفردية ومن ثم بتناقص عدد الأبواب المطلوبة إلي النصف لكل منهما أما إذا كان البئر هذا يحتوي علي العربتين معا فيكون في كل طابق باب أو أثنين حسب الاختيارات الأولية للتصميم وهذه الأبواب تأتي بعد باب العربة المتحركة ولها أعتاب ذات مواصفات فنية محددة وتعمل أيضا بنفس الأسلوب الخاص بالعربة وتتنوع أيضا كما سبق التنويه ويوضع علي كل باب مؤشرات لتوضيح اتجاه العربة وكذلك مبينات ضوئية لتوضيح موقع العربة بجانب إشارة وصول العربة Arrival Indicator.

٢- قضبان حديدية (زلقات) Rail Ways

هذه القضبان تعمل كدليل لحركة الكابينة داخل البئر كما أنه يجب أن تكون ملساء ويتم تشحيمها بصفة مستمرة حيث تتحرك العربة عليها هبوطا وصعودا ويجب أن تساعد علي الحركة السليمة وبدون أي تأرجح لجسم العربة بل يجب أن تكون دليلا للحركة الصامتة أي بدون صوت مزعج ولذلك من الممكن أن تتم الحركة علي القضبان من خلال رولمان بلي بدلا من التزلق المباشر وعادة تأخذ الشكل المقطعي علي شكل حرف T كما يركب عليها من أسفل في نهاية المشوار الخاص بالصاعدة مخمدات (باي) لامتصاص التذبذب الحركي نتيجة اصطدام العربة في نهاية المشوار وهي إما أن تكون نبضية الطابع أو هيدروليكية .

٣- الأسلاك الحاملة Wires

هي الأسلاك من الصلب الحاملة للعربة وتمر من فوق بكرة ماكينة الرفع وترفع من الجهة الأخرى الوزن المعاكس وهي من النوع المجدول ويجب أن يكون قطر الأسلاك مناسبا لقيمة الشد اللازم لرفع أقصى الأحمال في أسوأ الظروف من ناحية التصميم مع معامل الأمان الخاص بالتصميم كما يلزم تشحيم هذه الأسلاك كلها وبصفة مستمرة والتأكد بصورة منتظمة علي هذا التشحيم تسهيلا للحركة بدون فقد حراري وبالتالي استهلاك عمر هذه الأسلاك .

٤- وزن معاكس Opposite Weight

هو الوزن المقابل أو الثقل الموازن لوزن العربة كي تتوازن الحركة وتكون الحركة أكثر استقرارا بسرعة ثابتة خلال المشوار المحدد كما يجب أن يوضع هذا الثقل في فراغ محدد داخل البئر مما يستوجب أن توضع له قضبان كدليل حركة ويتم تركيب الثقل عليها كي تسير في مسار محدد داخل الفراغ بالبئر .

٥-٣: غرفة الماكينات Machine Room

تقع هذه الغرفة إما أعلى المصعد فوق السطح أو أسفله في البدروم وهي ذات صفات ومقننات هندسية خاصة ولها مواصفات إنشائية من حيث القاعدة الخرسانية بالكمر الحديدي اللازم لتثبيت المحركات أو الوسائل والحسابات الميكانيكية الخاصة بديناميكية التحميل والقوى المؤثرة علي حركة المصعد أو مكونات هذه الغرفة وهي تشتمل علي :

أولا : المحركات Motors

هي إما محركات تيار مستمر أو تيار متردد وذلك لجر الأسلاك الحاملة للعربة مضافا إليهم محرك تحريك باب العربة ولابد وأن تعمل بكفاءة وتناسق مع الفرامل التي تتحكم في توقيت وقف المحرك وبالتالي ضبط الوقوف عند الطوابق المختلفة وهذه العملية يتم تخزينها في ذاكرة المشغلات الدقيقة مرة واحدة في بداية التشغيل ولا يجوز تغييرها كي تنتظم عملية التشغيل بدقة ويمكن مراجعة هذا الضبط في كل عملية صيانة . جدير بالذر أن عملية الكبح (الفرملة) تعمل بمساعدة محدد السرعة لإيقاف العربة آليا بنظرية الطرد المركزي ويجب أن تفصل التغذية تلقائيا إذا ما ذادت سرعة المصعد عن ١١٥ % من المقنن لها وتعمل مجموعة أو مجموعات نقل حركة بتغيير حركة المحرك الدائرية إلي

خطا مستقيم علي طول البئر وتقع هذه المحركات في غرفة المحركات والتحكم وهي عادة تكون أعلي البئر وأحيانا أخرى أسفله ويجب أن توضع الاعتبارات الإنشائية والأحمال الشديدة للمصعد في الاعتبار عند التصميم .

توجد أيضا أنواعا مختلفة من آلات الجر اللازمة لحركة المصعد المستقيمة وتتنوع إلي :

١- أسطوانة موجهة ٢- ملفات ٣- العتلة

وهي كلها أنواعا للجر الميكانيكي كما تأخذ هذه الأنواع منطلقا محددا نضعه فيما يلي :

١- تحريك مباشر حيث يتصل محرك التيار المستمر مع عنصر الجر مباشرة وينقل الحركة بواسطة الأسلاك الرافعة (الحبال) .

٢- أسلوب تخفيض السرعة حيث يرتفع سعر مخفض السرعة فيزيد من التكلفة مما ترفع من مزايا النوع المباشر بالرغم من إمكانية التعامل مع كلا من محركات التيار المستمر والمتردد .

ثانيا : دوائر التشغيل الكهربية Operating Circuits

تتمثل في الدوائر الإلكترونية الخاصة بتشغيل المحركات ووسائل الوقاية والتحكم الخاصة بها وتعمل بالمشغلات الدقيقة (Microprocessor) كأساس للعمل حفاظا علي دقة الحركة المطلوبة والأمان المطلوب توافره فيها ولذلك فإنها تشمل كلا من :

أ) أجهزة التحكم Control Devices

يتم التعامل معها من خلال الدوائر الكهربية والتي تدخل في التشغيل بالمشغلات الدقيقة ومن أهم هذه الأعمال أن يعتمد النظام علي فرملة التشغيل Inter lock إذا ما كان أحد الأبواب مفتوحا بحيث نضمن سلامة المستخدم للمصعد ويمنع المحرك من الحركة في هذه الحالة . ويضاف إليها في بعض الحالات نظام التشغيل الطارئ عند انقطاع التيار فيعمل نظام التوليد المحلي حيث ترسل العربات تباعا إلي طابق معين محدد مسبقا كي تفتح أبوابه عندها لخروج من فيها وهي ما تتبع في المواقع الضخمة والعاملة في موقع متعدد العربات .

ب) أجهزة الوقاية Protective System

هي الأجهزة اللازمة لحماية المحركات من التيار أو الجهد ففيها وقاية زيادة الحمل وزيادة السرعة وفقدان الجهد وزيادة التيار (حالة قصر) وهبوط الجهد أو ارتفاعه أيضا أو تغيير المجال في التيار المستمركما أنه من الضروري تجميع كل الأوامر المطلوبة في منظومة منسقة من خلال ذاكرة المشغلات الدقيقة وبذلك تنظم هذه الأوامر في نظم كما يلي :

النظام الأول : التشغيل المستقل Independent Operation

يمثل استقلال الراكب للعربة بكل الأوامر طالما أعطي هو الأمر بذلك من خلال مفتاح بالعربة وبالتالي تستقبل العربة أية أوامر خارجية طالما أنهى الراكب أوامره أو توقف عنها فيتيح الفرصة لغيره وهو يلائم كافة الأبنية وكل الظروف .

النظام الثاني : التشغيل التلقائي المفرد Single Key Operation

يعبر عن التشغيل الآلي من خلال مفتاح وحيد بالعربة ويمكن أن يسمح بتسجيل باقي الطلبات من كافة الطوابق وهو مناسبا للأبنية المنخفضة قليلة الزحام علي العربة وتزيد فيها رحلات الصعود عن خمس مرات / الساعة تقريبا .

النظام الثالث : التشغيل المتكامل Collective Operation

يناسب هذا النظام الأبنية قليلة الزحام ولها ارتفاعات متوسطة وهي تعمل في الزحام الأعلى عن تلك المنظومة السابقة حيث يسمح بتسجيل كافة الطلبات من الطوابق ويجمعها كلها في خطوة واحدة .

النظام الرابع : التشغيل الهادف Selective Operation

فيه ينتقي المسجل للطلبات كل الطلبات المتوافقة مع اتجاه الحركة أو الطلب المقبول مستقبلا ويرفض غير المقبول لأنه تم المرور عليه ويعمل آليا ويعطي هذا النظام أحقية التجاوز عن أي من الطلبات

المحدد استبعادها وهو مناسبا للأبنية شديدة الزحام والسكنية ويلائم أيضا أسلوب العمل في المستشفيات وخاصة تلك التي تخص غرف العمليات بالرغم من أنه قد يسبب في بعض الأبنية شيئا من الخلل في دورات عكس الاتجاه وتخطي بعض الطوابق .

النظام الخامس : التنسيق الإلكتروني Electronic Operation

يناسب الأبنية الشاهقة مزدحمة الركاب وهو يستجيب لكل الطلبات من كل الطوابق حيث يتوافق العمل مع فترات الذروة والفراغ ويعطي طبيعة تشغيل لكل فترة منها ولذلك يقوم بالتنسيق بين كل الفترات الزمنية ليتلاءم التشغيل مع الظروف المتكررة مثل أوقات الصعود الإجمالي مثل فترة بداية العمل صعودا في الشركات والمصالح والوزارات وكذلك فترة الانتهاء من العمل هبوطا أو فترة الإقبال الجماهيري في المتاجر والمعارض والمتاحف والمكتبات وغيرها .

ج) وسيلة فصل وتوصيل التيار بالأسلوب التلقائي أو اليدوي وغالبا يتكون من مفتاح عمومي إلي الغرفة إضافة إلي مفتاح سكينة ومصهر ثلاثي لكل عربة صاعدة داخل علبة مغلقة لا تفتح إلا إذا تم فصل التيار كوقاية أمان من جهة تشغيل المصعد .

د) فرملة الحركة لتوقيت التوقف لكل عربة وتقع هذه الفرملة علي عامود إدارة لكل محرك بغرفة المحركات العلوية عادة .

ثالثا : أجهزة اتصال Communication Concept

تتعلق وسائل الاتصالات بين المصعد والعالم الخارجي بمحور الأمن والأمان الصناعي في تشغيل المركبات والمصاعد وتبعا لقانون المصاعد ولذلك يمكننا تنويعها إلي صنفين من الاتصالات التي نحتاجها دائما مثل :

أ) وسيلة اتصال مباشرة وسريعة

إلي مكان يتواجد فيه العاملين طوال اليوم وهو ما يعتبر من الأمور الجوهرية لأنها الملاذ إذا ما حدث توقف للمصعد بين الطوابق في حالة انقطاع التيار ومن ثم لا بد وأن تكون وسيلة دائمة التواجد ولا يجوز تشغيل المصعد بدونها .

ب) كابلات كهربية وأخرى للتليفونات Cables

تسير مع العربة علي طول المشوار كي يتم التوصيل الكهربي بين العربة وحجرة التحكم بأعلى المصعد كي يستطيع الركاب في الظروف الطارئة من التعامل بسهولة مع الظروف الخاصة ويكون متاحا لديهم وسيلة التغذية المناسبة لتحريك الصاعدة إذا لزم الأمر .

رابعا : وسائل الربط بين الصاعدة والماكينة

يمكن تصنيف هذه الوسائل إلي فرعين هما:

الفرع الأول : الوسائل الميكانيكية

تحتوي هذه الوسائل علي البكرات والكمر والأسلاك وأعمدة دليل الحركة والكراسي والجلب ومحاور الحركة التي تخص ميكانيكية الحركة ونقلها من الحركة الدائرية لعامود الحركة بالماكينة (المحرك) إلي الحركة الرأسية داخل البئر وكلها تخضع للمواصفات والاختبارات الفنية التي تتطابق مع قانون المصاعد بمصر .

الفرع الثاني : الوسائل الكهربائية

تشمل هذه النوعية علي :

أ) لوحات التوزيع الخاصة بالتيار الكهربي اللازم من الغرفة إلي العربة المتحركة داخل البئر .

ب) لذلك يوجد خط نقل بالكابلات الكهربائية يسير مع أدنى وأقصى مشوار حركة لتغذية العربة الصاعدة بشكل منتظم .

ج) بناء علي هذا نحتاج إلي صندوق أطراف لاستقبال هذه الكابلات عند الطرف المتحرك والواقع علي العربة من الخارج .

د) ربط الاتصالات بين العربة والمبني وغرفة الماكينات ويتم ذلك بكابل نقل وسيلة الاتصالات من خلال الهاتف وطرفي التوصيل علي صندوقي التوصيل في كل من غرفة المحركات والعربة بالمثل مثل التيار الكهربي .
هـ) وسيلة الأمان والتأمين حيث يلزم وضع أقفال لكل الأبواب وأطراف تشغيل لدوائر الاستغاثة والاستدعاء بكل ما تحتاجه من توصيلات وكذلك مصابيح الإنارة والإشارة اللازمة لها .

خامسا : المواصفات الفنية

تحتوي المواصفات الهندسية للمصاعد علي عددا من البيانات الفنية الأساسية والتي لا بد وأن تحدد علي الأقل عند تركيب المصعد وهو ما يجب تدوينه علي النحو التالي :
١- أسم المصنع لأجزاء المصعد ومكانه وتاريخ التصنيع .
٢- نوعية المحركات والذي غالبا ما يكون من النوع التأثيري ذو القفص السنجابي وكذلك نوع الكراسي ومحاور الحركة والجلب ومقننات القدرة والسرعة العادية والمنخفضة ومعدل عدد مرات القيام في الساعة والذي غالبا يقرب من ١٨٠ مرة بدء حركة لكل ساعة علي أساس التشغيل المستمر بالنسبة لمصعد الركاب .
٣- نوعية الفرملة المستخدمة .
٤- حدود التيار الكهربي وتيار البدء لحركة المحرك عند الحمل الكامل واللاحمل وجهد شبكة التغذية والذي عادة يكون ٣٨٠ / ٢٢٠ ف ، ٥٠ هيرتز ، ٣ طور + نقطة تعادل + نقطة أرضي .
٥- درجة الحرارة القصوى للمحرك أثناء التشغيل .
٦- بيانات أبعاد الصاعدة المصنعة من الصلب المجلد (سمك جدران بحيث لا يقل عن ١,٥ مم صلب لا يصدأ – أبواب ويفضل أن تكون من ضلفتين بكل منهما نظارة زجاجية – ارتفاع –عرض وطول وأنماط القوائم والعارضات الصلب) .
٧- خصائص سرعة الصاعدة المستمر مع الحمولة والطاقة المستهلكة في المشوار مع الحمل صعودا وهبوطا.
٨- بيانات أبواب الطوابق وأعتابها ووسائل البيان لها .
٩- نوعية مانعات التصادم والاهتزاز للصاعدة .
١٠- مقنن ثقل وزن الموازنة
١١- لوحات التوزيع ولوحة تشغيل المصعد ووسائل الأمان بها وصندوق التوصيل أعلي الصاعدة .
١٢- وسائل الوقاية الخاصة بالمحركات والدوائر الكهربية (ضد زيادة الحمل – ضد زيادة السرعة – ضد عكس الأوجه – ضد هبوط الجهد – مقننات قاطع نهاية المشوار – ضبط توقيت التوقف عند كل طابق) .

٤-٥ : الأنواع Types

نستطيع وضع الأنواع المختلفة للمصاعد علي ثلاث محاور:

أولا : مصعد ركاب Person Lift

تحسب فيها أوزان الأفراد وتتحدد بعدد الركاب فيه وتتنوع إلي :

١- مصاعد بطيئة Heavy Lifts

عادة تتحدد فيها الأوزان بين ٥٠٠ و ١٠٠٠ كجم وهو ما يعني ما يعادل تقريبا من ٤ إلي ١٠ أفراد ويتوزع فيها معدل التحميل بشكل مبسط وتتراوح السرعة له في حدود ٠,٧ – ١,٤ م/ث .

٢- مصاعد سريعة Light Lifts

تسمح فيها لرفع أوزان أكبر والتي قد تنحصر بين ١٠٠٠ و ١٦٠٠ كجم وهو ما يعني ما يعادل من ١٠ إلي ١٦ فردا وتزداد فيها السرعة إلي ٢- ٤ م/ث .

ثانيا : مصعد بضائع Goods

هي مخصصة للأحمال الكبيرة وكذلك المساحة الكبيرة حيث نحتاج إلي أماكن وفراغ كبير سواء في الأبواب أو داخل الكابينة ذاتها وتأخذ أشكالا منها :

١ – مصاعد صغيرة Small Lifts

أحمالها صغيرة بين ١٠٠ و ١٦٠ كجم فقط وهي للأعمال البسيطة والسريعة وسرعة مثل هذه المصاعد ٠,٥ م/ث تقريبا .

٢ – مصاعد خاصة Special Lifts

واعمل لأغراض محددة وتتعدد فيها الصفات والأنواع السابقة مما يستدعي لها نظاما خاصا مثل المستشفيات وغيرها .

٣ – مصاعد كبيرة Large Scale Lifts

في هذه النوعية تسير المصاعد بسرعة بطيئة في حدود ٠,٢٥ – ٠,٥ م / ث وتستطيع رفع أحمال كبيرة تتراوح بين ٩٠٠ و ٥٠٠٠ كجم .

ثالثا : مصعد متتالي Cascaded Lift

تكون الحاجة ماسة إلي هذه النوعية في العمارات الشاهقة مثل ناطحات السحاب وغيرها وذلك نظرا لتعذر قيام المصعد الواحد بمشوار طويل المدى ولذلك يتم تقسيم المشوار الكلي إلي عدة أجزاء ويوضع علي كل من هذه الأجزاء مصعد بأن يتم مثلا المصعد الأول للأدوار من ١ إلي ١٥ والذي يليه من ١٥ إلي ٣٠ وهكذا .

ثالثا : التركيب Installation

تعتبر عملية التركيب هنا العمل الهندسي الجوهري والأساسي لضمان التشغيل السليم مستقبلا ولذلك تؤخذ هذه النقطة بعين الاعتبار وتدخل من نطاق منهجين هما :

المنهج الأول : التنفيذ الهندسي

يشمل العمل الهندسي العديد من المبادئ كما يلي :

١ – متابعة التركيب تبعا للأصول الفنية Installation Revision .

٢ – التفتيش الجيد Inspection علي الدوائر الإلكترونية .

٣ – حداثة الصنع New Parts للمكونات المختلفة في دوائر التحكم والدوائر الإلكترونية علي وجه العموم

٤ – نموذج المشعلات الدقيقة (Microprocessors) علي احدث النظم وبسرعة وجودة عالية.

٥ – ترقيم الأطراف Terminal Numbers والمطابقة مع اللوحات والرسومات الهندسية وإصدار رسم تنفيذي مطابق للواقع.

٦ – تواجد بارات Bars في لوحات التوزيع تبعا للمواصفات.

٧ – مراجعة الدوائر الإلكترونية Electronic Circuits .

المنهج الثاني : قانون المصاعد Law of lifts in Egypt

المنهج القانوني ويشمل تنفيذ كل ما جاء بالقانون دون تهاون كما يلي :

١ – عدم مخالفة نصوص القانون .

٢ – عدم الاستثناء في مخالفة القانون .

٣ – مطالبة التنفيذ طبقا للقانون حتى وان لم يطابق التعاقد مع الشركة المنفذة .

٤ – عدم التراخي في الاختبارات المطلوبة قانونا .

تجارب الاستلام

١ – المعاينة الفنية الدقيقة لكل أجزاء مكونات المصاعد دون استثناء .

٢- اختبار التذبذب لقضبان دليل الحركة الخاص بالصاعدة .
٣- قياس سرعة الصاعدة مع الأحمال هبوطا وصعودا .
٤- التأكد من سلامة الفرملة وتوقف العربة علي الأعتاب بما لا يزيد عن فارق ٢ سم عند أي ظرف تشغيل .
٥- اختبار انقطاع التيار المفاجئ أثناء تشغيل المصعد هبوطا وصعودا .
٦- اختبار البراشوت بحيث ألا يتم مع أحمال غير آدمية وأثناء الهبوط بحيث ألا يتعدى المشوار بالبراشوت عن ٢٠ سم مع معاينة مكان انقباض البراشوت علي دلائل الحركة للتأكد من سلامة التشغيل وإعادة التشغيل مباشرة بعد الاختبار للتأكد من سلامة التشغيل .
٧- اختبار وسائل الاتصالات والأمن والاستدعاء .
٨- اختبار قواطع التيار برفع المصعد يدويا للتأكد من عمل القواطع في نهايتي المشوار صعودا وهبوطا.
٩- اختبار الصوت المزعج لحركة المصعد للتأكد من سلامة التشحيم لكافة الأجزاء الميكانيكية في ميكانيزم الحركة .
١٠- القياسات الكهربية وتطابقها مع المقننات مثل الطاقة والسرعة والقدرة مع تغير الحمل .
١١- اختبار سرعة المحركات هبوطا وصعودا مع الحمل ومع الفرملة ويمكن الوصول إلي تجاوز الحمل بقدر ٢٥ % تبعا لمواصفات المصنع .

الصيانة Maintenance

الصيانة الشاملة وتشمل هذه النوعية كل ما يخص أعمال الصيانة من قطع غيار وهي من أهم الضروريات عند التعاقد مع الشركات المنفذة حماية للمصعد وحرصا علي أرواح الركاب وتشمل العديد من النقاط .
١- وضع كافة الاحتياطات اللازمة عند العمل في بئر المصعد منعا لتشغيل الكابينة من أي فرد وذلك بوضع اللافتات الضرورية لهذا وقطع مصدر التغذية نهائيا ومنع توصيله بمعرفة أي فرد آخر ووضع ملامسات المتممات بعدم التوصيل أثناء العمل .
٢- التأكيد علي توافق منسوب كل من أرضية المصعد وأرضية كل طابق .
٣- غلق الباب وفتحه آليا وتلقائيا وبدون أصوات .
٤- فحص كافة الأسلاك الحاملة والمثبتات والبكرة الحاملة الرئيسية فوق البئر وتشحيمها .
٥- فحص نهايات المشوار الحركي من الطرفين .
٦- التأكد من النظافة التامة والشاملة لكل المكونات .
٧- فحص البارشوت وملحقاته والتأكد من التزييت .
نتناول هذا الموضوع من خلال خمس محاور هم :

المحور الأول : أنواع الصيانة Types

تشتمل أنواع الصيانة علي نوعين هما :

أولا : الصيانة الدورية Routine Maintenance

هذه النوعية هي المراجعة الفنية والتأكيد علي سلامة المصعد وحماية للعاملين والمستخدمين له وهي تتنوع حسب فترة الصيانة الدورية اللازمة ونقسمها فيما يلي :

١- الصيانة الأسبوعية

تخص غرفة المحركات وتشمل
أ) نظافة الغرفة وكل محتوياتها .
ب) فحص الفرامل .

ج) فحص مكونات المولد والمحرك .
د) فحص أجزاء تشغيل الباراشوت .
هـ) فحص البطارية .
و) فحص الدوائر الكهربية والمصهر بها .

٢- الصيانة الشهرية

تخص البئر وتشمل :
أ) فحص القضبان الحديدية وتشحيمها .
ب) فحص كابلات التوصيل .
ج) فحص علب التوصيل الكهربي .
د) فحص الكابينة من الخارج .
هـ) اختبار الباراشوت .
و) نظافة شاملة .

٣- الصيانة كل شهرين

تخص هذه الصيانة الكابينة وتشمل :
أ) نظافة شاملة .
ب) فحص البكرات وحبال الشد وتشحيمها .
ج) فحص الأبواب .
د) فحص التوصيلات الكهربية وعلب التوصيل .

٤- الصيانة نصف سنوية

تخص هذه العملية أبواب البئر وتشمل :
أ) نظافة شاملة .
ب) فحص الدوائر الكهربية ووصلاتها .
ج) فحص الأبواب وتشحيم أجزاء الحركة بها .
د) فحص حركة توقف المصعد مع الأبواب .
هـ) فحص الإشارات .

٥- الصيانة السنوية

تخص هذه الصيانة الجورة وتحتوي علي فحص أجزاء تثبيت العربة والوزن المعادل والتأكد من نهايات مشوار الحركة للعربة .

٦- الصيانة الطارئة

تختص بأي من الأجزاء ذات العطل المفاجئ غير المتوقع .

ثانيا : الصيانة الجسيمة

تختص بأعمال الصيانة الكبيرة مثل تغيير العربة أو الثقل أو القضبان الحديدية أو المحركات ووسائل الشد الميكانيكي الخاصة بها .

المحور الثاني : أسباب الأعطال Defect Reasons

تتعدد الأسباب ونضع أهمها ما يأتي :

١- سوء الاستخدام Bad Use

يلزم اتباع وسائل الأمن الصناعي عند أي عطل في تشغيل المصعد ووضع اللافتات التحذيرية (لمنع أي أضرار) والإرشادية (لطريقة وأسس تشغيل المصعد)الخاصة به فورا ولهذا يجب وضع كافة عوامل الأمان اليدوية أو الآلية لعمل المصعد .

كما يعتبرعدم غلق باب المصعد بشكل جيد من أول الأنواع المتكررة وهوأمرقائم نتيجــة الاســتعمال المتتالي والمتكرر كما قد يترك المصعد بدون صيانة دورية وتحدث تراكمات عن عدم النظافة أونتيجة تواجد عوالق خارجية أوغير ذلك مما يستوجب أهمية بالغة للصيانة الدوريــة والمراجعــة والتفتــيش المستمر .

٢- طبيعة التغذية الكهربية Power Supply

التشغيل السليم للشبكات الكهربية المغذية للمصعد تعتبر من أول الأسس الهامة للحفاظ عليه ومن مظاهر عيوب الشبكات الكهربية هبوط الجهد إلي حد قد يتسبب في حرق المحرك الكهربي نتيجة ارتفاع التيار اللازم مع هذا الجهد المنخفض لإدارة الكابينة بين الطوابق المختلفة ولهذا يجب الوقاية ضد هذه الأضرار أن حدثت .

٣- أعطال المحركات الكهربية

وهي المعروفة والتي تتبع نوعية المحرك وفي جميع الأحوال نوجز أهمها في البداية بالنسبة لمحركات التيار المتردد في نقاط كما يلي :

العطل الأول : القصر Short Circuit

ومنه نوعان هما :

أ) قصر مع الأرض Short Circuit To Earth

سواء كان القصرمباشرأوعبارة عن تلامس مع الأرض من خلال أحد أطراف الملفات أوأي من أجزائه

ب) قصر بدون الأرض Short Circuit Without Earth

النوع الثاني : فتح أحد الأوجه (الدوائر المفتوحة) Opened Phase

وهو ما قد يتسبب في عدم بدء حركة المحرك ويعالج بمراجعة المصهر إذا لزم تغييره أو التأكد من جودة تلامسه مع أطراف الدائرة. ويمكن أيضا هنا يظهر الفصل عند حلقات الانزلاق فيلزم إصلاحه .

النوع الثالث : الملفات المعكوسة Opposite Windings

ولهذا يجب التأكد من هذه الأوضاع واختبارها وتلافي حدوثها .

الأعطال الميكانيكية :

١- تآكل الكراسي ورولمان البلي Bearings .

٢- عيوب في ميكانيزم الحركة Moving Mechanism .

أما بالنسبة لمحركات التيار المستمر فيجب التأكد من ملفات المجال وعدم الــتلامس مــع الأرض أو تواجد أي فصل في الدائرة عند أطرافها والتأكد من نوعية توصيل الملفات هذه والتأكــد مــن صــحة توصيل أطراف المحرك كأقطاب موجبة وسالبة .

المحور الثالث : حالات تشغيل وسائل الأمان Safety Concept

هناك من التعليمات الهامة والجوهرية للتعامل مع تشغيل المصاعد ويفضل أن يخص أحد المتخصصين والمدربين علي تشغيله ولكن هذا يتعثر في كثير من الأحيان ومن ثم نضع أهم الاعتبارات التي تساعد علي أمان العمل بالمصاعد وهي :

١- عدم غلق الأبواب جيدا .

٢- تجاوز سرعة الحركة هبوطا أو صعودا .

٣- وصول بكرات الشد للكابلات الحاملة إلي الحدود القصوى أو الدنيا للشوط الحركي (المشوار) .

٤- ارتخاء وسائل التعليق لسبب ما .

المحور الرابع : اختبار المصاعد Tests

١- التأكد من سلامه تشغيل المحركات Safety of Operation وهذا يشمل المحركات وما يخصها مــن معدات ومساعدات .

٢- مراجعة الأصول الفنية في إنهاء الأعمال داخل الغرفة العلوية للمصاعد .

٣- اختبار تشغيل الفرامل Braking System تبعا للتعليمات الهندسية وكذلك اختبار الباراشوت واتجاه الحركة في بداية التشغيل وبعد كل صيانة .

٤ - التأكد من الاتصالات بين الكابينة والخارج سواء الأمن Security أو الطوارئ Emergency .

٥- ضرورة تواجد وسائل الإنذار الأساسية Alarm Signal في الكابينة وخارجها .

٦ - اتباع أسس الأمان الهندسي Engineering Safety داخل الكابينة وفي الغرفة العلوية .

٧- اختبار الحمل الكامل Full Load Test .



الشكل رقم ٥ - ٢ الشكل رقم ٥ - ١

References المراجع

محمد حامد : التركيبات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – ١٩٩٨
المواصفات الفنية لبنود المقايسات – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – الجزء الثاني – صحي وكهرباء – ١٩٩٩.
وجيه جرجس : دوائر التحكم الآلي– ١٩٩٢ – القاهرة .
محمد محمد حامد : الأحمال الكهربائية – القاهرة – ٢٠٠٠
محمد محمد حامد : الصيانة الكهربائية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – القاهرة – ٢٠٠١
إبراهيم علي عارف وآخرين : الحاكمات القابلة للبرمجة – بور سعيد – مصر – ٢٠٠٢

G. G. Tiranovsky: Mechanisms of Cable Works in Energy Projects, vol ٤٣٧, Energia, Moscow ١٩٧٦.

V. Manoilov: Electricity and Human, Mir, Moscow, ١٩٧٥.

V. Manoilov:, Fundamentals of Electric Safety Mir, Moscow, ١٩٧٥.

Vacuum Circuit Breakers, Manual, ASEA Brown Boveri, Germany.

V. Privezentsev et al: Fundamentals of Cable Engineering. Mir, ١٩٧٣.

AEI Cables Limited : Cables with Reduced Smoke, Toxicity and Fire Protection, ١٩٨٤, Paris, France.

Giuseppe Durano: Disegno di Impianti Electrici. Telemecanique Manual.

I. G. Warnak: Programmable Contrallers, Operation & Applications, Prentic Hall, ١٩٨٨

CD of RS Catalogue , UK , Northants NN ١٧٩RS

M. Y. ElGendy: PLC & Its Applications in Electricity, Port Said, Egypt, ٢٠٠٢.

CD of Electro Hydraulic Automation Co., Egypt

www.ehaegypt.com



رقم الإيداع ١٤٩٠٠ / ٢٠٠١

طبعت بمطبعة الهيئة العامة للأبنية التعليمية
٧٨٠ / ٦ - ٥٠ - ٩ / ٢٠٠٤
E-mail : gaeb @ gaeb.org